

分类号 TN97

学号 02051047

密级

密级

工学硕士学位论文

一体化通信对抗威胁评估与资源 分配方法研究

硕士生姓名 王丰双

学科专业 管理科学与工程

研究方向 信息管理与智能决策技术

指导教师 戴长华 副教授

国防科学技术大学研究生院

二〇〇四年十一月

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表和撰写过的研究成果，也不包含为获得国防科学技术大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文题目： 一体化通信对抗威胁评估与资源分配方法研究

学位论文作者签名： 王丰双 日期： 2004年 12月 1日

学位论文版权使用授权书

本人完全了解国防科学技术大学有关保留、使用学位论文的规定。本人授权国防科学技术大学可以保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档，允许论文被查阅和借阅；可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密学位论文在解密后适用本授权书。)

学位论文题目： 一体化通信对抗威胁评估与资源分配方法研究

学位论文作者签名： 王丰双 日期： 2004年 12月 1日

作者指导教师签名： 戴长峰 日期： 2004年 12月 1日

**Research on Threat Evaluation and Resource Assignment of
Integrative Communications Countermine**

**By *Wang FengShuang*
Supervisor: Pro. Dai ChangHua**

**A dissertation submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Master in Management Science and Engineering in the
GRADUATE SCHOOL of NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY
ChangSha, HuNan, P.R.China
December 2004**

目 录

摘 要.....	1
ABSTRACT	2
第一章 绪论.....	3
§ 1.1 课题的选题来源及意义.....	3
§ 1.2 国内外研究现状.....	4
§ 1.2.1 国外研究现状.....	4
§ 1.2.2 国内研究现状.....	6
§ 1.3 一体化通信对抗的体制、方法.....	8
§ 1.3.1 威胁评估.....	8
§ 1.3.2 干扰资源分配.....	8
§ 1.3.3 协调控制.....	8
§ 1.4 本文结构.....	8
第二章 通信电子战相关知识.....	10
§ 2.1 通信电子战综述.....	10
§ 2.1.1 电子战的定义.....	10
§ 2.1.2 通信电子战的发展历史.....	10
§ 2.1.3 通信干扰的分类.....	12
§ 2.2 通信干扰原理.....	12
§ 2.2.1 通信对抗系统构成.....	13
§ 2.2.2 通信干扰的相关概念.....	14
§ 2.2.3 通信干扰原理.....	15
§ 2.3 通信干扰的应用.....	16
§ 2.3.1 通信干扰的主要应用.....	16
§ 2.3.2 通信电子战的战术应用.....	17
§ 2.4 抗干扰通信技术.....	18
§ 2.5 通信干扰设备与装备.....	19
§ 2.6 通信干扰技术的发展趋势.....	20
§ 2.7 对我军电子战研究的思考.....	22
§ 2.8 小结.....	23
第三章 面向任务的通信威胁评估方法.....	24
§ 3.1 通信威胁评估概述.....	24
§ 3.2 通信威胁评估方法.....	24
§ 3.2.1 通信威胁评估的体制.....	24
§ 3.2.2 分析判断全局通信态势.....	25
§ 3.2.3 作战单元威胁排序和干扰目标的选择.....	26
§ 3.2.4 基于层次分析法的通信威胁评估.....	28
§ 3.3 通信威胁评估的应用实例.....	30
§ 3.4 小结.....	35
第四章 通信干扰的资源分配.....	36

§ 4.1 通信干扰的资源分配方法36

 § 4.1.1 通信干扰的基本准则36

 § 4.1.2 通信干扰的计算39

 § 4.1.3 效益矩阵41

 § 4.1.4 基于连续循环布尔操作法的通信干扰资源分配方法42

§ 4.2 通信干扰资源分配的应用实例42

§ 4.3 通信干扰的时间与空间45

 § 4.3.1 通信干扰的时间选择46

 § 4.3.2 通信干扰的空间选择46

§ 4.4 协同通信对抗的动态调整46

§ 4.5 小结48

第五章 一体化通信对抗辅助决策的仿真实现49

 § 5.1 一体化通信对抗的仿真模型49

 § 5.2 一体化通信对抗的仿真功能模块50

 § 5.3 一体化通信对抗的框架52

第六章 结束语54

 § 6.1 主要工作与创新点54

 § 6.2 进一步的工作54

致 谢56

参考文献表57

附录：作者在硕士学习阶段发表的论文59



图 目 录

图 2-1 通信电子战系统构成框图..... 13

图 2-2 通信干扰分系统构成框图..... 14

图 2-3 通信干扰原理图..... 15

图 2-4 远距离支援干扰图..... 16

图 2-5 随队支援干扰图..... 16

图 3-1 通信威胁评估体制图..... 25

图 3-2 分析判断全局通信态势所提供的资料图..... 25

图 3-3 敌军通信网络的拓扑结构图..... 27

图 3-4 通信威胁评估的层次结构图..... 28

图 3-5 敌军武器系统的通信网络拓扑结构图..... 31

图 3-6 通信威胁评估的层次结构图..... 32

图 3-7 敌军重要通信链路的威胁排序图..... 35

图 4-1 通信干扰准则图..... 37

图 4-2 通信干扰的时域准则图..... 38

图 4-3 通信干扰的频域准则图..... 39

图 5-1 实体模型的 UML 类图..... 49

图 5-2 通信对抗仿真功能模块图..... 51

图 5-3 一体化通信对抗的交互关系图..... 52

图 5-4 一体化通信对抗框架图..... 53

表 格 目 录

表 3-1 层次分析法两两比较标度29

表 3-2 Saaty 算出的随机一致性指标 RI 的数值30

表 3-3 敌军重要通信链路的参数指标31

表 3-4 通信链路层对指标层的权重及其相关参数34

表 4-1 海拔高度比与系数因子对照关系表40

表 4-2 我军干扰设备参数指标43

表 4-3 通信干扰资源的分配方案45



摘 要

C^4ISR 系统是现代信息战争体系的核心, 通信是 C^4ISR 系统中的纽带, 通信对抗成为 C^4ISR 对抗的重要组成部分。传统的通信干扰只考虑能量因素, 干扰资源的分配着眼于覆盖面, 已不能适应现代战争的需要。本文以我军空军在执行轰炸敌军防空导弹阵地的作战任务中, 对敌军重要通信链路进行通信干扰为例, 探讨了一体化通信干扰的体制与方法。在分析判断全局通信态势的基础上, 运用层次分析法进行通信威胁评估, 基于作战任务和目标, 充分考虑通信链路的战术重要性, 采用的通信技术, 以及传统的功率与距离等因素, 建立了通信威胁评估指标体系, 以定性与定量相结合的方式进行威胁评估, 在此基础上采用连续循环布尔分析法进行通信干扰资源的分配与优化, 实现了基于目标的一体化通信干扰, 提高了通信对抗的效率。本文还简要分析了通信对抗的时间与空间问题, 提出了协同通信对抗的动态调整思想。同时, 就一体化通信对抗辅助决策的模型体系、功能模块、通信对抗的框架等问题进行了讨论。

关键字: 通信对抗 威胁评估 资源分配 干扰 电子战

ABSTRACT

C^4ISR is the core of modern information war and communication is the tache of C^4ISR , thus, communicate countermine is the important part of the C^4ISR countermine. But the traditional communications jamming thinks only the factor of energy and the assignment of the interferential resource based on the area. All these don't adapt the need of modern war. This paper illustrates that in the course of our air force bombs an enemy's missile position and jams the important communication link, what are the system and method of integrative communications jamming. Based on the analyse of the entirely communications situation and adopting the method of quality and quantity, we use the method of AHP to evaluate the threat, thinking the target, the important of tactics, the communications technique, and the traditional factors and set up the index system. We assign and optimize the jamming resource used the method of Boolean sequence circulation and realize the integrative communications jamming and improve its efficiency. This paper also introduces the time and the space of communications jamming and the theory of its control and adjustment. At the same time, this paper discusses the models, the modules and the frame of communications jamming.

Keywords: communications jamming, threat evaluation, resource assignment, jamming, electronic war.

第一章 绪论

在世界战争史上,最早将“信息”与“战争”联系在一起的是法国的拿破仑,他指出“信息在战争中起着 90% 以上的作用^[19]。”但“信息战”最早提出是在 1978 年,美国军事理论家汤姆·罗那在他的著作《武器系统与信息战争》中指出,“信息战争”是“决策系统之间的战争”。通信与信息战息息相关,信息的传递依靠通信,以通信为纽带的自动化指挥控制是信息作战的重要手段^[1]。

指挥控制战是在情报的支援下,综合运用作战保密、军事欺骗、心理战、电子战和实体摧毁,阻止敌方获得信息,影响、削弱或摧毁敌方指挥与控制能力,同时保护己方指挥与控制能力免遭敌方同类行动的影响。指挥控制战是一种作战思想或作战策略,而电子战,包括通信电子战是实现这一思想和策略的具体手段之一^[5]。

现代战争是高技术较量的电子战争,通信已成为现代战争中军队的神经网络。 C^4ISR 系统是现代信息战争体系的核心,作战双方争夺制信息权的斗争将主要围绕 C^4ISR 系统的对抗与反对抗进行,通信是 C^4ISR 系统中的纽带,通信对抗成为 C^4ISR 对抗的重要组成部分^[3]。现代战争中各种高技术武器装备效能的发挥、战场指挥与控制、协调战争资源、战场态势和情报的获得、指挥控制命令的下达等都离不开有效的通信支援。通信对抗是正在兴起和迅速发展中的信息战的基本作战方式之一。无线电通信对抗,简称为通信对抗,是为削弱、破坏敌方无线电通信系统使用效能和保护己方无线电通信系统使用效能的正常发挥所采取的措施和行动的总称。其实质是敌对双方在通信领域为争夺无线电频谱控制权而展开的电磁波频谱的斗争,基本内容包括通信对抗侦察、通信干扰和通信电子防御等,本文将主要对通信干扰进行研究^[2]。

现代的高技术局部战争已从过去的单一兵器和单平台的对抗向着系统对抗、体系对抗方向发展,任何单一的电子战装备或多种电子战装备的简单叠加,已难以保障对敌方综合性高技术电子兵器实施有效和可靠的电子压制,必须把不同种类、不同用途的电子战设备和多种电子战手段有机结合,构成综合性的电子战作战体系,才能形成强大的电子战力量^[33]。因此,随着信息技术的不断发展,通信对抗也将与其它电子对抗方式一起构成综合的电子对抗系统,以其特有的作战方式和作战效能,在未来信息作战舞台上扮演越来越重要的角色。

§ 1.1 课题的选题来源及意义

本课题来源于“XX 军区空军智能辅助决策系统”和“XX 军区战役模拟评估系统”。

空军作战过程中,包括夺取制空权的空战、轰炸敌军重要目标等,都可能面临敌军预警机、战斗机、防空导弹和高炮、电子干扰部队、近距离支援部队等的威胁,敌军这些部队之间形成一定的通信网络,对网络中重要通信链路的干扰能使敌军武器装备的作战效能大幅度下降,并大大提高我军空战中对敌机的击毁概率以及轰炸中的突防概率和命中率。开展本课题的研究具有重要的理论意义和一定的现实指导意义,本课题在理论与实践上的意义是:

①研究和探讨空军作战过程中通信对抗目标选择的基本理论,充实和发展我军空军作战通信对抗的相关理论,具有一定的学术价值;

②探索对敌军相关作战单元之间重要通信链路进行威胁评估和排序的一般过程和方法,并建立相应的算法;

③研究基于作战任务和目标的通信干扰资源分配方法,为战时指挥员在通信干扰方面的科学决策提供一定依据;

以上研究,对我空军作战过程中的通信干扰支援战法具有一定的指导意义,能够指导通信对抗装备和设备的研制、发展和使用,具有一定的实战价值。

§ 1.2 国内外研究现状

海湾战争期间,美军根据通信侦察已经获得的情报,使用 EC-130H 通信干扰飞机等大量电子战装备对伊军的通信系统进行了强有力的干扰,致使伊拉克的通信网蒙上了一层“电子迷雾”,电话机充满了噪音;收报机全是杂音;伊拉克的整个通信被迫中断,部队各自为战,整个伊拉克陷入一片混乱之中。多国部队对伊拉克有效的电磁压制为其夺取绝对制空权扫清了障碍^[42]。由此,世界各国对通信体系对抗的研究更加重视。我军吸取海湾战争的经验教训,对通信对抗的研究也越来越深入。

§ 1.2.1 国外研究现状

西方发达国家,尤其是当今世界唯一的超级大国—美国非常重视电子对抗包括通信对抗的理论、战法、装备与设备的研制与发展等。美国电子战经费多得惊人,据外刊报道,1973~1979年为68亿美元(平均每年近10亿),而1980~1986年猛增至120亿美元。近年来,尽管由于冷战结束美国政府的国防预算在逐年减少,但对电子战的科技投入非但没有下降,反而逐年增长,并调整了相应的装备采购政策^[3]。

美国空军对电子战最为重视,三军电子战45%的投入来自于空军,机载电子战装备发展较早,性能先进,其ALQ系列干扰机发展比较成熟,拥有数百架专用电子战飞机,形成了强大的电子战力量^[28]。美空军的电子干扰飞机专门用于对敌方雷达、武器制导系统和无线电通信设备等实施电子干扰,可有效地对敌方地面防空雷达、战略战术通信网实施压制干扰或引导反辐射导弹直接摧毁雷达设备。

美军现役的EA-6B“徘徊者”电子战飞机、EC-130H“罗盘呼叫”专用电子战飞机,在最近几次战争中均有效地对敌方的通信网进行了干扰,使敌方通信中断,收信机全是噪声,指挥控制失灵,有效地支援了作战行动的实施。其中EA-6B“徘徊者”电子战飞机扩展了雷达干扰频段,改进了通信干扰能力,并加装了AN/USQ-113通信干扰机,增加了一些波段的发射机,使EA-6B具有实时精密瞄准能力,实时威胁处理能力^[29]。干扰系统的接收机和处理器的改进使其能够更精确地对敌方防空系统进行测距,并向其它飞机提供目标信息。美空军还计划对EC-130H“罗盘呼叫”通信电子战飞机进行改造,为EC-130H安装公共的硬件结构,以便在未来的改进中进行软件更新。计划加装特别发射阵电子干扰吊舱,该吊舱在对阿富汗的战争中经过了考验。现在美国空军正在对特别发射阵系统进行频率扩展,以扩大它的频率覆盖范围。另一个改造项目就是安装信号链接装置LINK-16。LINK-16能够使该飞机与美国空军的其它飞机进行合作,通过它的链接,EC-130H能够接收

RC-135“联合铆钉”发出的信号,直接与其它间谍飞机取得联系。“联合铆钉”能为EC-130H提供电子干扰的效果评估。

未来美空军还将发展“联合攻击战斗机(JSF)”的电子干扰型,以提高电子战飞机的随队作战能力,还将发展 C^4ISR 对抗飞机,从战场全局压制敌方指挥、控制、通信和情报等系统。此外美军还考虑将无人机用于通信电子战领域,并且能够根据作战要求,安装、更换不同的任务载荷,组合成执行不同电子战任务的专用电子战无人机^[3]。美国国防部高级研究计划局(DARPA)的“狼群”计划,研究和发​​展射频频谱优势技术,用于通信和雷达波段以进行电子支援、电子进攻和电子防护。该系统可在战术战场($20MHz-15GHz$)上实现射频频谱优势。

在美军信息战作战条令FM 34-40-7^[9]中详细分析了一体化通信干扰的体制,包括聚焦战术目标、对敌方作战单元进行优先级排序、识别控制敌军武器系统的电子系统、提供干扰的技术参数、计算相关的干扰数据等。干扰行动计划的制定,各种通信干扰方法实施的条件、方法及其优缺点,特别是根据仿真实验结果和战争实践总结出一些行之有效的通信干扰计算方法,如干扰公式法、GTA30-6-5法和JAMPOT扇形法等,它们以公式、表格、图形等方式给出干扰功率和距离的计算方法,能够在战争环境中快速准确地计算通信干扰设备所需的参数指标,便于为作战部队提供有效的通信干扰支援。本文引用了其干扰公式的计算方法,并对其进行了简单的改进^[5]。

针对实战中暴露出的问题,美军对于通信对抗的战术研究也非常重视,软硬一体化打击、干扰时间与空间、干扰机的配置与协调等,并不断地在实战中完善和发展通信对抗的战术作战理论。

在电子战设备方面,美军现役电子干扰系统中通信干扰系统的主要技术水平如下:

频率范围:1.5~500兆赫;

干扰功率:连续波功率200~2000瓦,脉冲功率1~2000瓦。

干扰能力:具有同时干扰多信号的能力;

自动化程度:计算机控制、具有功率管理能力和自适应能力。

故障平均间隔:7400小时;

美军对于通信电子战的仿真也非常重视,这方面的研究主要包括:在存在混杂媒体信号的环境中,融合来自多个信息源的不同信息,运用建模与仿真的方法以及专家系统的方法来获得更加智能的算法,可以比以前更快、更详尽地描述和控制信息,从而能更及时地完成探测装置和数据的信息融合任务;建立通信过程模型,研究有效的通信对抗战法,通过作战建模与仿真,演示验证美军的通信对抗能力,提高战时快速选择和优化通信对抗作战方案的能力。此外,美军为了能够在军事平台上真正实现“一体化电子设备”,将一些不相同的技术设备从功能上加以集成,并使它们能够互操作,以便组成最佳的武器系统。主要技术包括:电子系统的体系结构(建模与仿真、互连、标准与接口、故障容错等)、资源与信息技术(自动辅助决策、多信息融合、多传感器集成等)、电子设备处理器(机器智能与智能化软件集成等)。在通信对抗方面的主要应用是将通信侦察、测向、定位、通信威胁评估、干扰目标排序、快速跟踪、干扰实施等功能进行集成,或者与雷达对抗、光电对抗功能进行集成,达到快速、实时的一体化干扰的目的^[34]。

未来美军电子战装备将从单一功能的电子战设备,向多平台、多手段、多功能的战区级综合一体化电子战系统方向发展;研制隐形电子战飞机,发展多用途电子战无人机;发展频率覆盖范围更大、攻击距离更远、可截获多种体制雷达信号的新一代反辐射导弹;增

强空地一体战、提高对敌纵深打击能力将成为陆军电子战系统今后的发展方向；提高协同作战能力将是海军电子战系统发展的重点；空军电子战系统的发展旨在增强快速反应能力、整体作战能力、抵御敌方导弹攻击的能力。

为适应 21 世纪作战需要，保持电子战的发展优势，美军调整了电子战装备发展计划，在纵向上将进一步扩展电子战侦察、告警和干扰压制的频率覆盖范围；开发先进的、综合体制的信号截获装备；提高侦测的灵敏度和信号处理能力；提高干扰机的有效发射功率以及功率管理能力；加速开发激光、红外光电对抗装备；大力发展定向能武器等电子战硬武器。横向上积极走三军联合研制通用化、综合化系统的发展道路，正在开发综合一体化电子战系统和标准化、模块化可任意重构的系统结构，并制定了今后十年的电子战技术发展目标。2010 年前，为美空军先进战斗机 F-22 研制的“综合电子战系统（将首次正式实现软件驱动）”可能服役；RAH-66“柯曼奇”武装直升机将装备更先进的综合一体化电子战系统。改进后的 EA-6B 电子战飞机将于 2010 年前正式投入使用，于 2015 年前代替 EF-111A 电子战飞机。美军综合电子战能力将大大提高，届时将具有攻击敌指挥控制网和有选择地破坏敌通信和武器控制网的能力，其电子对抗能力和平台自卫电子战能力也将得到加强，并将同时实现威胁告警、目标识别及指示、任务管理等功能^[7]。

§ 1.2.2 国内研究现状

我军对电子对抗的研究非常重视，一些单位在这方面也取得了一定的成果。如成都电子对抗国防科技重点实验室进行的综合电子战仿真研究，对包括通信对抗在内的综合电子战作战效能进行评估，给出了评估的指标体系、模型和算法等，也可以对具体的通信设备进行功能仿真，在一定程度上优化通信设备的配置和性能需求，指导通信对抗武器装备的发展。他们运用美国工业界武器系统效能咨询委员会（WSEIAC）建立的模型，即系统的效能向量 \bar{E} 是系统的有效性向量 \bar{A} 、可信赖性矩阵 $[D]$ 和能力矩阵 $[C]$ 的乘积的方法对电子对抗系统作战效能进行评估，将影响电子干扰作战效能的主要因素划分为系统的干扰引导能力、干扰效能和系统响应能力，将它们作为评价电子干扰设备的作战效能指标。将电子侦察与干扰看成是系统的两个部分，它们串联地组合起来，构成了电子干扰对抗系统，整个系统的作战效能则用两个部分的乘积表示。这种效能评估方法能够定量地评价电子战系统的性能，是一种简洁、实用的方法^{[35][36]}。

解放军电子工程学院提出基于雷达干扰智能决策支持系统中干扰资源一对一分配原则的快速算法，可以快速寻找最优分配方案，这种分配原则也可应用于通信干扰的资源分配。在通信对抗的战术方面，他们提出通信对抗侦察立体化、范围广域化、手段多样化、行动机动化、指挥方式一体化、电子防御智能化的思想，对于我军通信对抗战术的研究具有一定的实用价值^[32]。总装备部第三十三试验基地设有专门的通信对抗研究室，主要研究电子战的新战法、现有电子战装备的合理有效配置与协调，以及通信对抗设备作战效能的有效发挥等^[37]。

北方交通大学进行了电子干扰效果与效能评估的研究，在深入研究传统的通信对抗电子干扰效果单纯用能量压制进行衡量的基础上，提出了新的电子干扰效果评估因子 K ， $K = K_p K_s K_T K_i$ ，其中 $K_p = P_j / P_i$ ， P_j 、 P_i 分别表示接收机输入端的干扰功率与信号功率； $K_s = S_j / S_i$ ， S_j 、 S_i 分别表示接收机输入端干扰信号与有用信号的作用空间； $K_i = T(T_j, T_i, T_{ji})$ ， T_j 为接收机输入干扰信号时间， T_i 为接收机输入有用信号时间， T_{ji} 为

接收机接收到其它噪声的时间与信号混合形成干扰的延迟时间; $K_j = J(s, n) \in [0, 1]$, 通常由信号形式、干扰形式等因素决定。在效能评估方面, 传统的方法是将各子系统的效能直接相加, 而实际上, 系统的总体效能并非是各分系统效能的简单叠加, 而是一种复杂的“与”和“或”的关系, 为此, 他们定义了新的通信干扰效能评估因子 σ_j 来反映它们之间的关系。

$$\sigma_j = [F_c(f_c, \Delta f_c) + A_c(\alpha, \Delta\alpha, \beta, \Delta\beta)]^{0.5} \times (H_j + H_r) \times P_j$$

其中, $F_c(f_c, \Delta f_c)$ 为通信干扰频率覆盖能力, 与通信干扰频率引导范围 f_c 和干扰瞬时带宽 Δf_c 等有关; $A_c(\alpha, \Delta\alpha, \beta, \Delta\beta)$ 为通信干扰空间覆盖能力; H_j 为干扰目标能力; H_r 为通信干扰目标的反应时间; P_j 为通信干扰的辐射功率。通过建模仿真, 验证了其正确性, 从而克服了现有电子对抗效能评估方法的不足。这些概念和表示方法的补充, 是一些新型通信体制下最佳电子干扰理论和方法, 并将其运用于现代电子对抗装备中, 为电子对抗关键技术的研究提供了必要的理论基础^[27]。

在通信对抗的装备方面, 我军专用电子战飞机主要有轰电-5、轰电-6 以及图-154MD 等, 可以执行电子情报侦察、电子干扰对抗等任务。

目前, 我军战区级的综合电子信息系统具有一定的规模和电子对抗能力, 但是距离未来信息战需求还存在很大的差距, 包括通信对抗在内的电子对抗技术需要进一步提高。国内对于通信对抗装备的作战效能和通信对抗的战法研究比较成熟, 但对于一体化的通信对抗研究相对比较少, 缺乏对通信威胁评估以及如何合理地配置通信对抗装备的研究^[26]。

另外, 台军的电子战研究和发展情况基本如下:

①在台军 2002 年 7 月发表的《国防报告书》中, 将电子战摆在了重要的位置, 18 亿美元的研究和采购预算中 25% 是电子信息战设备^[46]。台军未来 5 年军事投资预定花费 6052 亿新台币, 其中信息战与电子战项目为最大宗, 占 28%^[41]。

②为有效运用电子战支援、电子战防护, 实施电子战, 建立台海电磁屏障, 掌握电磁优势, 台湾各军种都设有电子战部队编制, 以有效支援其它部队完成防卫作战任务。其中, “老虎”电子战大队, 负责联合制空作战方面的电子战, 并协同实施联合反制作战。另外, 台湾“中山科学研究院”专门负责台军电子战武器系统的研发、测评等。

③目前台军主要电子战装备包括: 电子战飞机 EAT-3 型机 24 架, 部署在台湾北部的新竹基地; 18 架 AT-3 电子干扰机, 并成立了专业电子战部队即第 35 夜间轰炸电子干扰中队。此外, 台军还在主要的作战飞机和部分战斗机、轰炸机(勤务机)上装备了电子战装置, 使所有作战飞机都具备一定的电子战能力。其中, 第 20 电子战大队为空军主力电子战大队, 由台空军第 439 联队第 20 空运大队改编。该大队主要装备包括独立第 2 队(原空运第 2 中队)的 E-2T 空中预警机以及第六中队装备的 EC-130H 电子干扰机等。同时, 台军还准备从美国购买最新的 E-2T“鹰眼”2000 型预警机, 充实其预警机中队^[47]。

④台军电子战的基本设想是: 首先进行“摧毁性电子作战”, 即战时由战机携带反辐射导弹, 攻击对方防空雷达站, 打开“安全走廊”, 使自己的战机安全进入目标区; 其次是“攻击性电子战”, 运用电子战飞机、遥控无人飞行器及战术空射诱饵等, 干扰对方防空雷达系统及指挥通信系统, 以图使之暂时失去效用; 三是“自卫性电子战”, 由战机携带自卫性电子反干扰系统, 尽可能防御对方防空武器侦察或锁定目标, 以保护自身安全^[48]。

§ 1.3 一体化通信对抗的体制、方法

针对目前国内在通信对抗研究方面存在的问题,本文提出了一体化的通信对抗体制和方法,主要包括判断全局通信态势以进行通信威胁评估、干扰资源的分配与优化、干扰资源的协调控制等。

§ 1.3.1 威胁评估

随着现代高技术局部战争的发展,通信对抗也由原来的一对一的对抗向着系统之间、体系之间的对抗发展。通信干扰也由对单一目标的干扰向着多目标、成体系的对抗发展。在这种情况下,针对我军不同的作战任务,将敌军通信网络中各通信设备进行威胁评估显得尤为重要。

进行通信威胁评估首先要分析判断战场的全局通信态势,对敌军相关的作战单元用具有偏序关系和传递关系的二元组表示其相对重要性,并确定作战单元的战术重要性排序。作战单元之间的通信链路很多,根据执行的任务,选择其中对敌我双方都至关重要的通信链路作为通信干扰的高价值目标,根据其战术重要性、运用的通信技术、发射功率、相对距离等指标,使用层次分析法进行威胁排序。

§ 1.3.2 干扰资源分配

一体化通信对抗干扰资源的分配是在有效通信侦察和通信链路威胁排序的基础上,根据干扰目标的性能、指标和参数,依据一定的作战原则和干扰算法,利用有限的干扰资源完成对敌方重要通信链路的干扰。干扰资源的分配依赖于一定的作战任务、作战过程和选取的干扰目标。本文提出基于作战任务和目标的通信对抗资源分配方法,运用连续循环布尔操作法,在通信链路威胁排序的基础上,对干扰资源的分配进行优化,提高通信对抗的作战效能。

§ 1.3.3 协调控制

通信体系对抗强调综合运用通信设备和技术,在充分保护我军通信畅通的基础上,对敌军通信进行有效的干扰和压制,以达成战役目的。现代高技术局部战争战场态势瞬息万变,因此,通信体系对抗也是一个以任务和目标为驱动的动态地进行协调和控制的过程。为此,在实时的通信侦察的基础上,根据战场通信态势的变化和我军执行的作战任务和目标的不同,对敌军重要通信链路重新进行威胁排序,对我军的干扰资源重新进行配置是非常必要的。为此,本文提出基于作战任务和目标的干扰资源整体协调与控制思想,对通信对抗装备的指挥与控制,以及有效的电磁频谱管理思想。

§ 1.4 本文结构

本文共分六章,分别从通信对抗的原理、意义、战法、设备与装备、面向任务的通信

威胁评估和干扰资源的分配以及通信对抗辅助决策的实现等方面对通信对抗加以论述。

第一章是绪论，主要介绍了课题来源、国内外研究现状、一体化通信对抗的体制、方法。

第二章简要介绍了通信对抗的意义、战法、原理和干扰设备与装备，对现代战争常用的通信抗干扰技术与装备进行了简要分析，论述了通信对抗技术的发展趋势，并对我军未来电子战方面的研究提出了建议，为后续章节的论述奠定了基础。

第三章详细分析了面向任务或目标的通信威胁评估方法，在分析判断全局通信态势的基础上运用层次分析法，建立了威胁评估的层次结构，给出了求解威胁指数的方法。以空军轰炸敌军防空导弹阵地为例具体实现了通信威胁评估。

第四章详细论述了一体化通信干扰资源分配方法，在分析基于覆盖面的资源分配方法的不足的同时，提出了基于目标的资源分配方法。对通信干扰功率与距离的算法进行了简单的改进，运用布尔操作法实现了基于目标的通信干扰资源分配。

第五章详细分析了一体化通信对抗辅助决策的实现方法，包括模型体系、仿真功能模块、通信对抗的框架等。

第六章介绍了本文的主要工作与创新点，以及进一步的工作。

第二章 通信电子战相关知识

通信电子战是现代化战争中一种特殊的作战方式，也是一种重要的作战手段，对于战争的胜负起着至关重要的作用。相关知识对于我们理解通信威胁评估和资源分配具有重要意义，下面简要介绍通信电子战方面的知识。

§ 2.1 通信电子战综述

通信系统是军队作战指挥的“神经系统”和战斗力“倍增器”，通信对抗既是电子对抗的重要组成部分，又是通信的伴生物。它的主要任务是：截收、监测、测向定位和识别敌方通信信号，进而采取通信干扰措施，阻止、破坏或削弱敌人的 C^4ISR （指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察）系统；同时又要保护己方通信联络畅通，是双方在通信领域内为争夺电磁优势而展开的电子对抗。

§ 2.1.1 电子战的定义

美军方认为：“信息战是一种电子斗争，在这种电子斗争中，信息是一种值得去征服或摧毁的战略资源。因此，计算机和信息（通信）系统已成为最受人重视的首要攻击目标^[15]。”在总结海湾战争经验教训的基础上，美国参谋长联席会议备忘录 CJCSMOP6 对电子战进行的定义为：

电子战（Electronic Warfare, EW）：使用电磁能和定向能控制电磁频谱或攻击敌军的任何军事行动。电子战包括三个主要部分：电子攻击、电子防护和电子战支援。

电子攻击（Electronic Attack, EA）：以削弱、抵消、或摧毁敌方战斗能力为目的，使用电磁能或定向能攻击其人员、设施或装备。

电子防护（Electronic Protect, EP）：为保护人员、设施和装备在己方实施电子战或敌方运用电子战削弱、抵消或摧毁己方战斗能力时不受任何影响而采取的各种行动。

电子战支援（Electronic Support, ES）：由作战指挥官分派或在其直接控制下，为搜索、截获、识别和定位有意或无意电磁辐射源，以达到立即辨认威胁之目的而实施的各种行动^[4]。

§ 2.1.2 通信电子战的发展历史

历史上首次有意识的无线电干扰出于商业目的，美国无线电电报公司利用大功率发射机干扰其它公司的无线电接收机，在竞争中取胜。军事上通信对抗的首次运用发生在 1905 年 5 月的日俄海战中。日本的联合舰队与沙皇俄国的第二太平洋舰队进行了一场大规模海上作战。日军为了掌握俄军的军事动向，动用了当时最先进的高技术—电子侦察技术，监听俄国舰队的无线电通信，并大量使用民用船进行全方位侦察，详细掌握了俄国第二太平洋舰队的航行路线，并将联合舰队的主力配置在既定海域。结果不出所料，俄在没有任何准备、完全处于劣势的情况下，钻入了日舰队布设的天罗地网中，一艘主力舰被击沉，指

指挥舰“苏沃洛夫”号受到重创，失去了战斗力。接着，日本海军又用电子干扰来破坏俄军的无线电通信，使得俄军舰队陷入一片混乱，四散溃逃。日军在采取电子干扰取得成功之后，又监听了俄军溃散军舰的无线电通信联络信号，并再次设伏。当俄军残存的军舰集结起来准备向俄国的军港驶去的时候，又遭日本舰队的围攻，有 19 艘被击沉，7 艘被俘，官兵死伤 11000 余人；而日军仅损失 3 艘小型舰艇，伤亡 700 余人。

这是世界上第一次运用现代电子通信技术进行电子对抗的战争，它标志着一种全新的作战样式——电子战的诞生。

第一次世界大战中，无线电通信技术已经使用得相当普遍，在侦听、组织协同、作战指挥等领域发挥了较大的作用。但此时的电子对抗仅限于通信对抗。二战期间，通信电子战得到了进一步的发展，特别是中后期，电子战由单一的通信对抗发展到雷达、导航等其它领域，并研制出了侦察飞机、电子干扰飞机以及金属箔条干扰投放设备等专用电子战武器，许多国家还组建了电子战专业部队。电子战的作用和地位有了明显的提高。如在不列颠空战中，英军充分发挥电子战威力，利用电子战所创造的有利契机，完成了由被动到主动、由防守到进攻的战场态势的转变，从而在兵力、装备、数量上均处于绝对劣势的情况下挫败了德军，取得了不列颠空战的胜利，不仅挽救了英国，也对二战的进程产生了重大影响。

越南战争中美军首次将硬摧毁战术应用于电子战，利用“百舌鸟”反辐射导弹摧毁越南的“萨姆”-2 导弹防御系统中“扇哥”雷达，开创了电子战硬摧毁的时代。1986 年 3 月的美利战争中，电子战“软杀伤”和“硬摧毁”珠联璧合、相辅相成，电子战能力产生质的飞跃，并真正开始超越保障作用的范围，发展成为一种新的战斗手段。

海湾战争开创了电子战的“黄金时代”。以美国为首的多国部队在战前、战中对伊拉克实施了一场“全空域、全领域、全时域、全频域”的电子战。美国为了及时、准确地掌握伊拉克的情报，有效满足指挥、通信、控制的需要，组建了高效运转的“四网”：一是以军用卫星和商用卫星相结合组成“天网”；二是用预警机和通信中继指挥机组成“空网”；三是用车载指挥中心、联合战术信息分发系统、单路地面和机载无线电通讯系统以及各种短波电台组成“地网”；四是利用舰载电子情报侦察系统和通信设备建立多方位“海网”。在“沙漠风暴”空袭行动开始前 5 个小时，多国部队开始对伊军实施代号为“白雪”的电子战行动，对伊军雷达、侦察和通信系统发起猛烈的“电子轰炸（电子干扰压制）”。在地面使用了电子干扰车和一次性使用的干扰器材，在空中出动预警机和大批 EA-6B、EC-130H 等电子战飞机，在不同距离上对伊军防空雷达、通信系统进行压制性大功率干扰，使伊军处于雷达迷盲、通信中断、制导失灵、无法指挥的混乱之中。多国部队还对伊军的电子系统、防空系统、指挥与控制系统和情报设施的关键点进行了贯穿全程的连续的毁灭性打击，取得了 C³I 系统对抗的成功，使伊军变成了“瞎子”、“聋子”和“哑子”，为夺取整个海湾战争的胜利奠定了基础。

电子战从诞生到今日已有近百年的历史了，在这百年中，电子战在技术推动和需求牵引的双重作用下，由单一的作为保障手段的“电子通信战”发展成为集侦察与反侦察、干扰与反干扰、摧毁与反摧毁为一体的新型作战样式，由在作战或战争中的从属地位和辅助作用发展成为主导地位 and 决定性作用^[18]。

§ 2.1.3 通信干扰的分类

根据分类依据的不同,通信干扰可以有多种分类方法,下面从比较通用的以干扰形式和干扰样式对通信干扰进行分类。

一、干扰形式是指干扰的频谱形式或干扰与信号的频谱相对关系。对射频信号的基本干扰形式主要可分为以下几种:

①阻塞式干扰

阻塞式干扰主要针对跳频通信系统。跳频通信是将数字信息与二进制的伪码序列模二相加后,离散地控制射频载波振荡器的输出频率,使发射信号的频率随伪码的变化而跳变。阻塞式干扰的干扰频带很宽,可同时干扰在其频段覆盖范围内所有的通信设备。优点是实现干扰快、能同时压制频带内多个信号;引导设备简单甚至不需要引导设备。缺点是干扰功率分散、利用率低,所需发射功率比瞄准式大得多;实施阻塞式干扰时,己方的信号也容易受到干扰。

②局部/窄带干扰(瞄准式干扰)

窄带干扰主要针对直接序列扩频通信系统。干扰载频(中心频率)与信号载频重合,干扰和信号的频谱宽度基本相同,干扰功率集中,干扰频带较窄,干扰能量全部用来压制敌方的电磁信号,对己方信号干扰较小,因此干扰功率利用率高、干扰效果好,但同一时间只能干扰一个频带上的信号,对频率引导设备要求较高的引导精度和引导速度。

③扫描式干扰

干扰频率在较宽的频带内周期性地变化,对扫频范围内的通信信号进行干扰。特点是干扰反应时间短、管理方式自动化。

④半瞄准式干扰

干扰信号频谱与被干扰信号频谱没有完全重合。通常干扰信号频谱比被压制的信号频谱宽一些,能全部或大部分通过敌方接收机的频率选择回路。这种方式一般只在敌方信号出现时间短,来不及准确瞄准时使用^[23]。

二、干扰样式即干扰信号的形成方式或用于调制干扰载频的调制信号样式。按此,通信干扰可以分为以下几种。

①欺骗式干扰

在敌方使用的信道上,利用敌人的通信方式和语言发送伪造的消息,从而造成敌军接收方的信息差错和判断失误。

②搅扰式干扰

利用噪声、音响、脉冲、……等干扰样式对敌军接收端的人、机的信息判断制造困难,致使无法判决,无法通信。以定频通信为例:噪声对语音有极强的遮蔽效应,使语音无法判听;音响可以使听者发生错误的联想、精力被牵引从而削弱了对语言的判听能力;脉冲可以使听者心情烦乱,精力疲惫,工作能力降低从而通信效果降低。

③压制式干扰

利用强大的干扰功率实施对目标信号的完全压制^[18]。

§ 2.2 通信干扰原理

通信干扰技术是通信对抗技术的一个方面,是通信对抗领域中最积极、最主动和最富

有攻击性的一个方面。干扰原理和干扰系统的构成是通信干扰的基础知识。

§ 2.2.1 通信对抗系统构成

一个完整的通信对抗系统构成框图如图 2-1 所示。

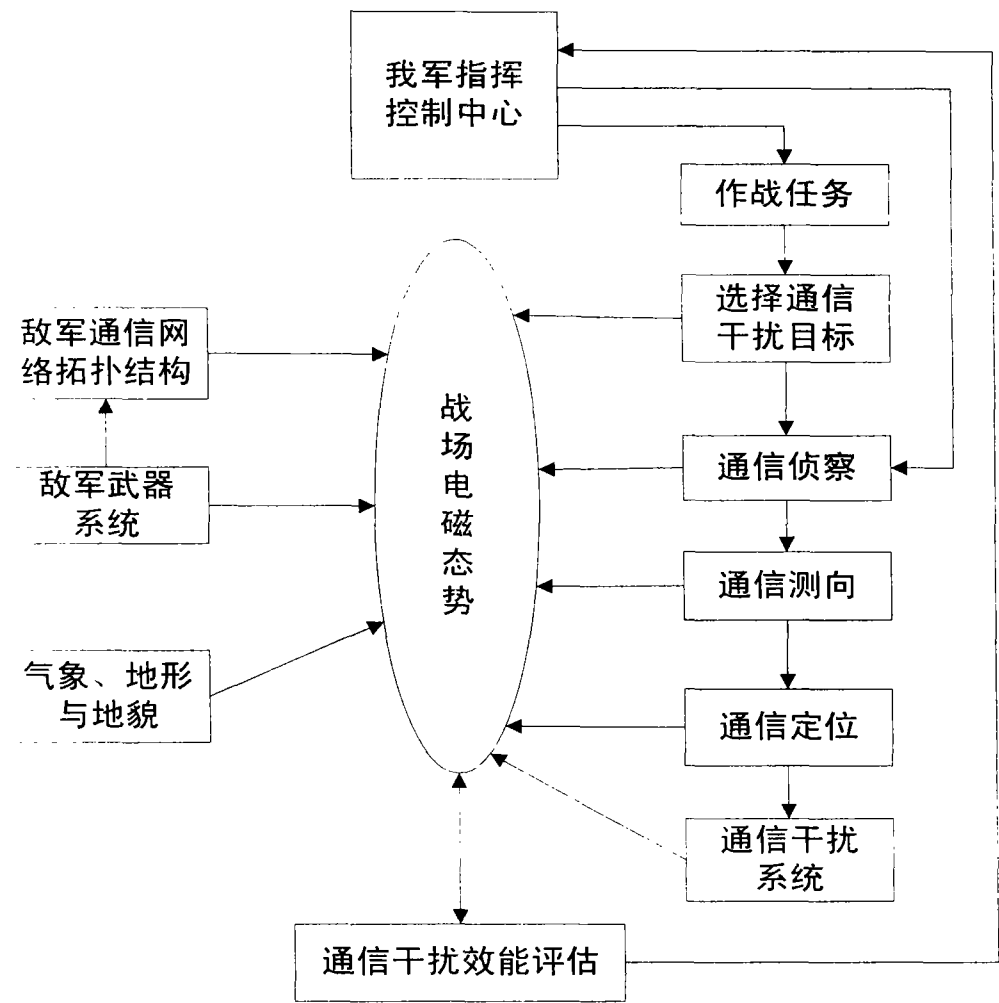


图 2-1 通信电子战系统构成框图

我军作战指挥中心下达作战任务，情报和电子战作战部门根据作战任务和敌军武器系统及其通信网络的拓扑结构以及气象、地形与地貌等战场电磁态势选择通信干扰的目标链路。然后控制通信侦察、测向和定位等通信支援系统对欲干扰的目标通信链路进行有效的通信侦察，提供详细的有关敌军通信链路的性能、指标与参数等，并将相关信息传输到通信干扰系统。通信干扰系统根据通信支援提供的参数对敌军通信链路进行干扰，通信干扰效能评估系统对战场的通信态势和我军通信干扰的效果进行评估，将信息反馈回指挥控制中心。

通信干扰系统也可以独立组成一个作战系统，一个完整的通信对抗系统一般由指挥控制分系统、测向定位分系统、侦察支援分系统、通信干扰分系统、内部通信分系统和技术保障分系统等组成，图 2-2 是一种综合电子战系统中通信干扰分系统的构成框图。

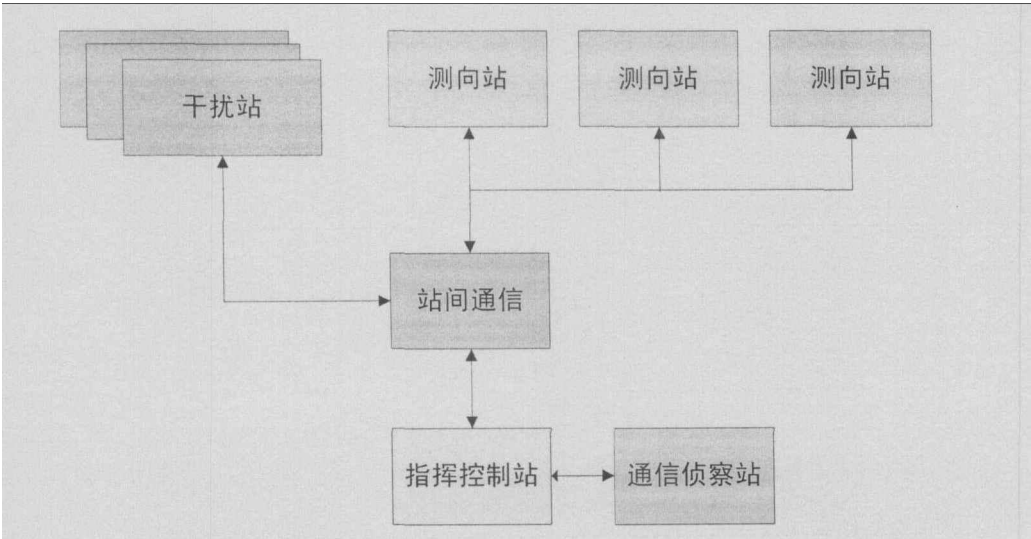


图 2-2 通信干扰分系统构成框图

通信对抗系统的工作在通信侦察与指挥控制分系统的控制下进行。当侦察分系统发现威胁目标之后，通过指挥控制分系统指挥测向定位分系统对该目标进行测向定位，并将测向定位的结果送回指挥控制分系统，指挥控制分系统对各种数据进行融合处理，完成对目标信号的分析、分选、识别、测量、显示与引导等，指挥干扰分系统对敌军目标实施干扰。

§ 2.2.2 通信干扰的相关概念

1.香农（Claude Shannon）定理^[17]：

$$C = B \log_2 (1 + \delta)$$

其中 C 为信道容量，B 信号带宽， δ 为信噪比。显然，随着干扰信号的增强，信噪比减少，则信道容量减少，信号传输受到影响。

2.压制系数

压制系数 K 等于在确保无线电干扰对无线电通信接收机系统完全压制的情况下，在无线电通信接收机输入端所必需的干扰与信号功率之比，即

$$K = \frac{P_i}{P_s}$$

式中， P_i 为在保证完全压制的情况下，在通信接收机输入端所必需的干扰功率； P_s 为通信接收机输入端的信号功率。压制系数的大小与干扰的形式、接收的方法、信号的结构及信号的特征有关。

3.天线增益

天线增益是指将有向天线的增益与一个全向天线进行比较，然后用相对于全向天线增益的分贝数（dBi）来度量天线的增益。天线的增益表明了天线的方向性。在通信电子战中，经常使用的是全向天线，因此本文所涉及到的发射机、接收机和干扰机都认为其天线是全向性的。

4.全向天线

全向天线是指天线在各个方向上发射的电磁能量相同，这样在距天线距离为 R 的自由

空间的功率密度为:

$$P_R = P / 4\pi R^2$$

其中, P 为发射机的有效辐射功率, 它实际上等于发射机功率与天线增益 G_t 的乘积。

§ 2.2.3 通信干扰原理

无线电通信系统的基本用途是将确定的信息用电磁辐射方法从一个地方传送到另一个地方。在通信的过程中, 涉及到三方, 即通信发射机、接收机和干扰机。通信的过程即信息传递的过程, 信息由信息源产生, 首先转换为电信号(如音频信号、视频信号和数字信号等), 这些信号在通信发射机中对载频进行调制。经调制后的携带信息的载频信号经处理、变换和功率放大后, 由天线进行电磁转换, 然后发射出去。射频信号经传播路径的衰减之后, 被接收天线接收。同时, 自然环境中存在的各种干扰信号, 如天电干扰、工业干扰、人为干扰等信号也被天线接收。叠加许多干扰的信号经通信接收机处理变换后送到解调器, 解调后得到的信息送至通信接收终端, 完成整个通信过程。通信干扰原理如图 2-3 所示^[18]。

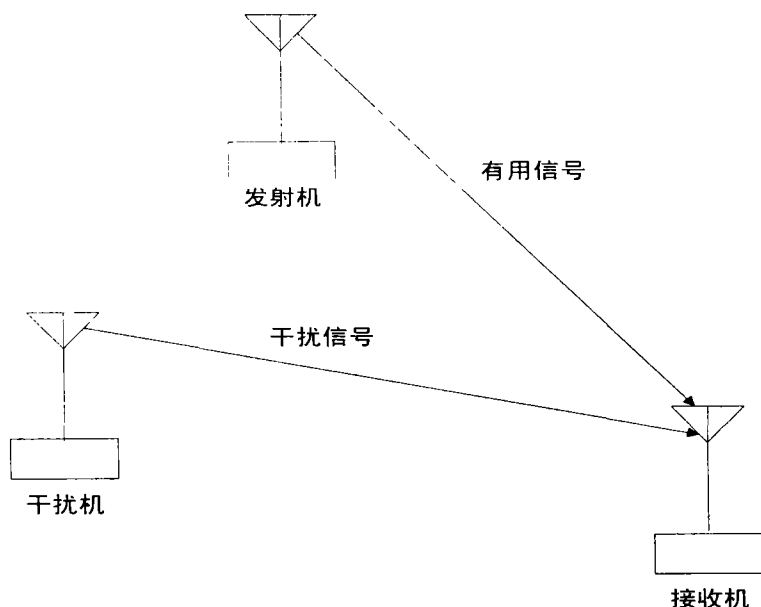


图 2-3 通信干扰原理图

目前, 并无办法可以使用电子技术阻止无线电磁波的发射, 因此, 通信干扰唯一可行的方法就是在信号传输的链路上叠加一个干扰信号, 使得干扰信号与通信信号同时经接收机线性部分变换以后, 相叠加进入解调器。由于解调器的非线性, 在其输出端同时有有用信号、干扰、干扰信号与通信信号相互作用产生的杂散分量。

由于干扰的存在, 实际的通信接收机可能存在以下几种情况:

①完全被压制, 在给定时间内收不到任何消息或者只能收到零星的极少量消息, 在通信接收终端所得到的有用信息量实际上近似于零, 此时无线电通信被完全压制。

②实际的通信接收机虽然没有被完全压制, 但在复制消息的过程中产生大量的错误, 差错的存在使得消息总和的内含信息量减少, 通信效能降低, 通信接收终端可获取的信息量不足, 战争行为的决策困难。此时无线电通信链路被“干扰”了。

③无线电通信信道容量减小, 消息的传输速率降低。单位时间内通信终端所获得的信息量减少, 或者为传送一定的信息量所花费的时间较长, 由于干扰的存在造成的这种通信的延误使得通信接收终端不可能及时获取信息, 专家系统(人或机)决策迟误, 造成战机的贻误。在现代战场上时间就是生命, 战机就是胜利。通信干扰能够从敌人那里夺取时间, 争取到主动。此时敌方的无线电通信被“阻滞”了^[13]。

以上几种情况都称为“有效干扰”。

§ 2.3 通信干扰的应用

现代高技术局部战争中, 通信干扰无时不有, 无处不在, 而通信干扰的应用及其战术是电子战装备有效发挥效能的途径, 因此世界各国都非常重视研究通信干扰在空军作战中的应用及其战法。

§ 2.3.1 通信干扰的主要应用

通信干扰在空军作战中的作用主要体现在支援干扰方面, 支援干扰是指装在随队干扰飞机、远距离支援干扰飞机上的通信干扰。通常有以下几种^[18]:

①远距离支援干扰(编队外支援干扰) 由专用电子干扰飞机组成干扰编队, 在远离被攻击目标的空域施放电子干扰, 支援己方攻击编队实现突防和攻击, 见图 2-4。

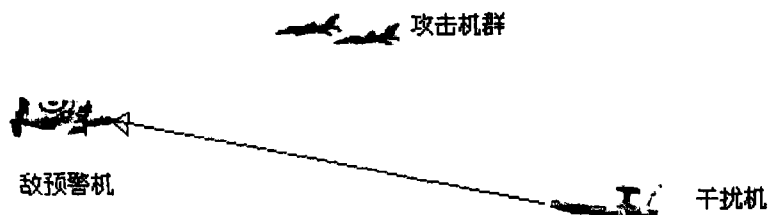


图 2-4 远距离支援干扰图

②近距离支援飞机(编队外支援干扰) 近距离支援干扰是编队外支援干扰的一种形式, 它采用布撒的方式将多部投掷(或摆放式)一次使用的干扰机布撒在目标附近, 以近距离密集的干扰和压制敌防空武器指挥系统。

③随队支援干扰(编队内支援干扰) 专用电子干扰飞机随攻击编队实施突防, 在接近目标的过程中实施干扰, 为攻击机群提供掩护支援, 见图 2-5。



图 2-5 随队支援干扰图

④对敌方预警机的数据通信链路进行干扰。

敌方空中预警机的远距离探测及空中指挥功能对我方的威胁非常大, 为了削弱其功

能,除了对其预警雷达进行干扰外,还可以通过对其数据通信链路进行干扰,以破坏其情报信息的传递与通信指挥的畅通。由于预警机的通信线路对预警机功能的发挥至关重要,一般预警机的通信线路都具有很强的抗干扰能力。所以对预警机通信链路的侦察与干扰是一项极富挑战性的通信对抗应用领域。

⑤对敌方防空雷达网的数据通信链路进行干扰。

在我方作战机群执行对敌方轰炸与攻击任务时,要遇到敌方防空火力的拦阻。此时除了用雷达对抗敌方雷达的工作进行压制外,还要对敌方防空雷达网的数据通信链路进行压制,双管齐下,可以达到更好的压制效果。因为雷达对飞机的威胁并不在雷达本身,而在于雷达情报传递到作战指挥所后,引导防空武器对我方飞机进行的攻击。因此,只要使雷达数据通信线路失灵,指挥部门得不到情报,防空武器就无用武之地。

⑥对敌方地一空指挥通信及空一空通信进行干扰。

在敌方歼击机拦截作战中,作战机群如果脱离了地面指挥及空中通信联络,就会变成乌合之众,所以对敌方地一空指挥通信及空一空通信进行有效的通信干扰,是空战中一项有效的作战手段,可大大削弱敌方机群的战斗力,从而减少我方作战飞机的损失。

空战事实证明,各类飞机遂行战斗任务的结果如何,在很大程度上取决于用电子干扰压制敌防空系统的能力如何,只有综合使用电子干扰兵力破坏敌警戒、侦察和防空兵力兵器的指挥与控制才有可能突破敌防空系统。因此,世界各国的空军都比其它军种装备有更强的干扰能力。国外有关专家计算表明,使用掩护编队的电子干扰飞机可使突防航空兵因歼击机攻击而受到的损失减少 70%,因地-空打击而受到的损失减少 30%。

一个国家或地区的防空体系,不管其具体构成有多少不同,从总体上来看都包括以下三个广义的系统:目标分配系统、指挥引导系统和自动寻的系统。现代防空武器系统的这三个组成部分构成一个相互衔接的信息回路。任何一个环节的中断都将导致防空体系的破坏。无线电通信干扰系统都是用于对指挥引导系统进行干扰和压制。指挥引导系统是防空体系中最薄弱的环节,无线电通信是航空作战中唯一可行的通信方式,通信是空战的神经,是空战胜败的关键。对敌防空体系指挥引导系统施放有效的人为干扰,对整个战斗进程将有重大的影响。外军认为:“在现代战争中,当进行拦截和地空协同作战时,如能使对方的地面指挥引导系统与歼击机之间,飞机与地面部队之间的通信受到干扰,其损失就大了。……”“对所有通信都能进行通信干扰,特别是对航空通信进行干扰具有重大的意义。……利用这种干扰能给攻击一方造成非常有利的形势。”这是通信干扰系统在空军突防作战中的重要用途。

§ 2.3.2 通信电子战的战术应用

电子战的战术应用在电子战中占有重要地位,没有科学的战术应用,再先进的电子战装备也难以发挥其效能。据现代战争电子战作战效能评估统计,电子战战术应用在作战效能中占 50%~60%。

技术优势可占据电子战主动权是建立在战术应用适当的基础上。美国专家评论:最先进的 F-117“夜鹰”隐身战斗轰炸机在开战第四天被南联盟击落,是战术应用不当所致。即 EA-6B 电子战飞机距离 F-117 飞机太远,选用的又是宽频谱干扰,没有足够的干扰功率,对南联盟雷达和通信的干扰无效,导致 F-117 飞机被 SA-3 导弹击落。

现代高技术局部战争一体化通信电子对抗应遵循的战术原则主要有:

①一体化通信电子对抗要适应作战的需要。

现代高技术局部战争是软杀伤与硬摧毁的合成与综合,必须防止缺乏火力支援与电子对抗的联合。为此,必须重视各种电子对抗力量的运用,特别是天基电子对抗的应用,重视通过陆海空天一体化电子对抗行动,有效地支援作战。

②指挥员要象运用炮兵一样地运用电子对抗。

如美军新版《作战纲要》继续贯彻了威廉·佩里 80 年代任国防部副部长期间提出的观点,“指挥员要象运用炮兵一样地运用电子对抗”。同时,要求“指挥员要象使用火力一样地使用一体化电子对抗系统”。现代战争敌我双方的无线电通信都非常频繁,通信是否有效成为战争成败的一个关键支撑点。重视通信对抗的使用,可以有效地降低敌方的通信效果,为己方赢得战争胜利奠定基础。

③电子对抗须与火力结合使用,以破坏或打乱敌人。

“摧毁和破坏敌军指挥、控制、通信与情报”是电子对抗的原则。在作战中“通过火力、机动、干扰和欺骗,协调一致地攻击敌军,才能获得最好的打击效果”。美军新修订的电子对抗术语体系已完全接纳了摧毁性电子对抗手段,“电子战斗”理论更强调电子对抗与火力的综合运用。

④电子对抗行动必须寓于各级作战行动之中。

高技术战争中作战必须有电子对抗部队的支援。各级作战行动都离不开通信联络,有通信存在,通信对抗就无处不在。通信对抗必须先于作战行动或者与作战行动同时发生,否则将失去效果。

⑤电子对抗部队的部署与战斗部队的部署相协调。

在作战中必须避免战斗部队部署与电子对抗部队部署相脱离的情况发生,特别是快速部署部队杀伤力的形成,必须有足够的电子对抗部队。各级部队指挥员必须不断地协调电子对抗,以支援作战行动,特别是在战争的关键时刻尤其如此^[21]。

§ 2.4 抗干扰通信技术

在电子对抗中,谁赢得了通信的主动权,谁就可以取得电磁斗争的胜利。在我军进行通信干扰的同时,敌军必然尽量采用先进的通信抗干扰技术。目前的通信抗干扰技术主要是扩展频谱技术,由于扩展频谱技术具有信号频谱宽、波形复杂、参数多变、安全隐蔽等显著特点,已成为当代通信抗干扰技术的重要发展方向和体制,也成为通信对抗技术的主要发展方向与体制。国外常用的有跳频技术、直接序列扩频技术、跳时技术、混合扩频技术等。当然还有非扩展频谱类的抗干扰技术,如自适应天线技术、猝发通信技术、纠错编码与交织编码技术、分集技术等。下面简要介绍一下相关的通信抗干扰技术^[43]。

①跳频技术(Frequency Hopping, FH)

跳频技术是用扩频码序列去进行频移键控,使载波频率不断跳变而扩展频谱的一种方法。其工作原理是:在发射端,先对输入的信码进行基带调制(通常是 FSK 调制),然后再与伪码序列(PN 序列)控制下的频率合成器产生的本振信号(射频载波)进行混频,得到伪随机跳变的射频信号。在接收端,用与发射端相同的 PN 序列控制本地频率合成器,将接收的信号与本地频率合成器的信号混频,得到基带调制信号,然后再进行基带解调,恢复出信码。跳频通信是瞬时窄带通信,在每一个频率的驻留时间内,所占的信道是很窄

的,但由于频率跳变的速率较高,从宏观上讲,跳频通信系统还是宽带系统,即扩展了频谱。

目前跳频电台已成为世界各主要国家的重要通信装备,跳频通信技术正向着自适应、高跳变速率和宽带的方向发展。典型的采用跳频通信体制的通信设备有法国 Thomson-CSF 公司生产的 TRC9600 机载跳频电台,它具有快速/中速跳频速度变换能力;美国 Lockheed Sanders 公司出品的 HF 增强型跳频电台 (CHESS),这是一种能保障低截收和检测概率及高抗干扰能力的高速短波跳频系统,是新一代短波扩展频谱技术的代表,跳速 5000 跳/秒。

②直接序列扩频技术 (Direct Sequence Spread Spectrum, DS)

直接序列扩频是一种真正对抗的抗干扰体制,它将有用信号在很宽的频带上进行扩展,使单位频带内的功率变小,即信号的功率谱密度变低,通信可在信道噪声和热噪声的背景下,用很低的信号功率谱进行通信,使信号淹没在噪声里,敌方不容易发现信号。其工作原理是:在发射端,用高速率的伪随机序列与信息码序列模二相加后获得复合码序列即直接序列扩频信号,然后去控制本振信号(载波)的相位构成调相方式的射频信号。在接收端,先用与发射端同频同相的本振信号对接收信号进行相位解调,然后用与发射端相同的 PN 序列进行相关解扩,得到原来的信息码。

该技术的特点是信号隐蔽性好,截获概率低,并能抗多径干扰,而且容易实现码分多址体制。典型的采用扩频通信体制的通信设备有美国 SICOM 公司 1995 年在美国 95 年联合武士互通性演示验证 (JWID' 95) 演示会上演示的由它开发的宽带短波收发信机,而西德 TST 公司生产的 TST-2007 无线保密电台,采用直接序列扩频技术,在 29MHz 带宽上编码,使每赫兹的功率很少,以致在近距离上也难以检测到传输信号^[6]。

③猝发通信技术

又叫快速通信,是一种速率极高的通信方式。猝发通信技术先将信息存储起来,进行处理、压缩,然后在某一瞬间以正常时 10—100 倍甚至于更高的速率发送出去。信息在信道中暴露的时间极短,因此难以实施通信侦察、测向、截获和干扰^[16]。只有采用高速截获和快速干扰设备,才可能对其实施有效干扰。典型的采用猝发通信技术的通信设备如美国 Racal 公司的 6288 型数据终端,英国 Rocal 公司的 VRQ319/BCC39 HF 电台和南非的 TR178 型短波单边带自适应跳频电台(在配上 DT309 战术终端后)都具有信息猝发能力。

以上只是各种抗干扰通信技术中有代表性的几种,在此不多赘述。

§ 2.5 通信干扰设备与装备

空军方面用于通信干扰的专用设备和装备主要有电子战无人机、有人驾驶电子战飞机、一次性使用的干扰机等。下面简要介绍几种电子战设备。

一、电子战无人机。

电子战无人机是目前广泛应用于战场的主要电子战设备,它具有突出的优点:

①采用抵近干扰,距离短,能以较小的干扰功率获得较强的干扰效果,因此也可以简化对干扰设备的要求,这对于系统设计以及减小干扰设备的体积、重量、电源功率和造价都是有益的。

②降低了易损性。人工操作的干扰机的一个主要问题是投入作战后的生存能力,因为很高的干扰功率使得测量其频率和地理位置很容易,因此干扰机特别容易受到敌方直接火

力和间接火力武器的袭击。无人机载干扰机是动态的,并且无战斗人员,因此具有少得多的易损性和较强的生存能力。

③避免了与己方设备之间的相互干扰。由于远距离干扰机更接近己方的无线电设备,因此会在己方通信接收机中注入有害的干扰能量。而无人机载干扰机远离己方,距离敌方较近,对己方通信设备的干扰降低到了最低程度。

由于具有以上优点,各国都非常重视电子战无人机的发展。典型的有美国诺思罗普·格鲁门公司的“全球鹰”和通用公司的“捕食者”等无人机^[12]。

二、投掷式干扰机。

投掷式通信干扰机可以适应网络对抗的要求,以其广空域、多样式、近距离、多频段、大数量的干扰辐射压制敌方战区通信网的有效运行。传统的大功率集中式通信干扰系统在对敌方实施干扰的同时,对己方通信也会造成影响。使用投掷式通信干扰机,由于干扰机配置在敌方防区纵深处,远离我方阵地,所以彻底解决了通信的电磁兼容问题。

可采用飞机(无人飞机)、火箭、迫击炮和地雷等布放一次性使用的投掷式通信干扰机。可以在敌方区域内和纵深实施拦阻式干扰,降低敌方作战单元间的战术 UHF/VHF 无线通信的有效性,具有实时截获、信息传递及时准确、干扰时间长、不易被发现等优点,因此能够创造有利的电磁态势,达到“快速”和“准确”通信电子支援的目的^[20]。

典型的一次性干扰机有英国的 RJS3140,其工作频率为 20-90MHz,单部机的功率只有 10 瓦,可由特种部队实施远距离部署,摆放在重要目标附近,一般多部编组以扩大压制区域。

三、遥控飞行器。

遥控飞行器具有体积小、机动灵活、不易被发现、造价低、可减少人员伤亡等特点。它可以深入敌方纵深执行电子干扰任务,在距离敌方辐射源较近的地方施放干扰,以较小的干扰功率取得较好的干扰效果。因此,一些发达国家非常重视遥控飞行器的研制和改进。

四、专用电子战飞机。

专用电子战飞机是指专门用于侦察、干扰或者摧毁敌方雷达和通信系统的飞机。专用电子战飞机具有高度的灵活性,可担负随队支援和远程支援干扰任务,因此在未来作战中的地位和作用将会更加突出。目前这种电子战飞机一般是有人驾驶的,可以对敌军进行有效的通信干扰以保护空中作战飞机。大多数携带反辐射导弹,必要的时候可以对敌方的雷达装备进行硬摧毁。

比较典型的专用电子战飞机有美军 EF-111A 电子战飞机、UH-60A“快定”通信对抗直升机、EA-6B“徘徊者”电子战飞机、EC-130H“罗盘呼叫”专用电子战飞机等。其中 EC-130H“罗盘呼叫”通信干扰飞机由 C-130“大力士”运输机改装而成,适合装载多种电子战设备,专门对敌方通信和指挥控制系统实施大功率的压制干扰。

§ 2.6 通信干扰技术的发展趋势

现代信息技术尤其是电子计算机及数字处理技术的发展提高了信息干扰技术的信息处理和快速反应能力。射频通信干扰技术将向着以下的方向发展^[31]:

一是扩展频段范围。

采用宽带自适应天线技术、宽带高速频率合成技术及宽带快速精密测频技术等频段扩

展技术,可扩展干扰机的工作频段和调谐范围。外军现役通信干扰设备的工作频段主要集中在野战通信的高频、甚高频、特高频频段,频率可从几百 KHz 到 1GHz 以上,并正在向更高的频段发展。如法国的“TRC265”机动战术干扰系统,侦察、干扰频段为 20-1000MHz,美国的“Chief”侦察干扰系统,其侦察、干扰频段为 0.5-1200MHz。

二是增大干扰功率。

采用大功率固态器件技术、功率合成技术、大功率电源技术及功率管理技术等增大干扰功率。目前压制式干扰发射机输出连续波功率一般为数百瓦,高的可达数千瓦;欺骗式干扰发射机输出功率一般数千瓦或更高。短波、超短波波段的干扰发射机为获得更大的输出功率,常采用功率合成技术。如美国 AN/TCQ-15 短波干扰站,功率合成模块的输出功率为 2 千瓦,配上自适应可伸缩天线和相控阵天线,有效辐射功率可达 8 千瓦。

三是缩短响应时间。

响应时间是指从截获信号频率、确定最佳干扰样式到施放干扰的时间。现代干扰机都采用高转换速率的频率合成技术、战场实时数据库技术、实时信号识别分析技术、高精度瞬时测向定位技术及快速精密测频技术以缩短干扰的响应时间。如英国的 RJS3110 型干扰机响应时间为 1s,美国装备使用的 AN/TLQ-17A 通信干扰系统响应时间小于 1s。

四是增强干扰功能。

目前先进的有源干扰设备通常采用了固体功率合成部件、微处理电路、微机或工作站,具有单机通用性和一机干扰多个目标的功能。同时这些设备能预先编制干扰对象频率参数排序表(如固定频率、跳频等),按时分制式自动选频方式实施干扰任务,并根据战场环境变化不断修正列表。带有全景引导式接收机及监听接收机的干扰系统,还可对被干扰信号进行实时分析、识别,并根据其特征分配干扰功率、选定最佳干扰样式。

五、开发新通信体制的对抗技术。

随着通信技术向低截获概率技术方向发展,如宽频带高速跳频技术、宽频带扩频技术、自适应天线方向图技术等,通信对抗面临前所未有的挑战。如果跳频电台的跳速为 1000 跳/秒,跳频范围为 30—90MHz,跳频最小频率间隔为 25kHz,伪随机跳频规律。那么该电台在每个频率点上仅驻留 1ms,并且共有 2400 个可能用于通信的频率点。在通信方面,收发双方按预先设置好的伪随机规律同步跳频,所以每 1ms 自动换一个载频,接收带宽只需要 25kHz。但在通信侦察方面,必须对每一个新的工作频率点都进行寻找,而且必须在远小于 1ms 的时间内去寻找。假如用 0.2ms 的时间,在 2400 个可能的频率点上去搜索新的工作频率点。则在每个频点上只能停留不到 0.1us 的时间。可见对于这样的跳频通信接收机的干扰是非常困难的。因此,通信干扰技术将面对跳、扩频通信,发展宽频带、高搜索跟踪速度与超大干扰功率的新一代侦察、测向与干扰技术。

六、发展综合一体化通信对抗体系。

通信系统为了提高在复杂干扰环境中的通信可靠度,广泛采用带有很大冗余度的网络结构,当一条通信线路中断时,可以从另一条迂回路径沟通。现代军事通信已向陆、海、空、天多平台及三军一体化组网互通、实时信息传递、交换与分配方向发展,网络重组与迂回能力大大加强。因此,通信对抗必须从整个网络高度开展研究,以实施有效的网络通信对抗。这意味着通信对抗系统要向通信对抗网络发展,实现陆、海、空、天多平台综合通信电子战与三军通信对抗一体化联合作战。

七、多功能、模块化。

由于电子技术与软件技术的发展,电子设备中的部件正在向小型化、模块化、标准化、

系列化方向发展,随之而来的是电子设备的功能也向多元化发展。电子对抗系统的设备普遍采用标准化的模块结构,通过组建多种作战平台通用的弹性系统架构,使不同的系统、设备尽可能拥有相同的电子模块,相互之间可以通用,根据不同的对抗对象快速组装成功能不尽相同的电子战装备。

通信对抗技术也向着多功能方向发展,通信对抗装备兼有通信功能,通信干扰机兼作同频段的雷达干扰机等。这种兼容系统对机载平台,如电子战无人机等很有意义,它可以大大减少需要配置的电子设备的种类,减轻重量,缩减体积,减少电力消耗,也有利于维护保养。如目前美军在 F-15 战斗机上装备的 AN/ALQ-135 电子干扰系统和新研制的 AN/ALQ-165 电子干扰系统,都遵循了新的模块化设计原则。法国研制的 TMV-433 电子战装备,即可用于舰船、潜艇上,又可用于电子战飞机、海岸上,并能够根据作战平台的不同,调整系统组件。

八、提高自动化程度。

为了更有效地对抗现代战争战场上复杂多变的电磁威胁,未来新一代的电子对抗装备将更广泛地采用电子计算机技术,大幅度提高整个系统的自动化程度,以具备更好的实时能力、自适应能力和全功率管理能力。

通过一体化和自动化对电子干扰资源实施科学管理,以便使电子战装备能以最佳对策形式响应瞬时电磁威胁态势,即所谓的功率管理。美军装备的 AN/ALQ-131、AN/ALQ-161 等电子干扰系统以及正在研制的机载一体化电子战系统 (INEWS),都广泛采用了提高干扰自动化能力的技术,可同时干扰多个目标。

§ 2.7 对我军电子战研究的思考

未来战争电磁频谱的争夺将更加激烈,通信对抗的作用也将越来越重要,下面就我军未来通信对抗方面的研究工作谈些粗浅的看法^[28]。

一、增强通信对抗研究的针对性。

①针对未来我军面临的局部战争的形态、特点和规律及其对通信对抗的要求,确定研究方向、思路和重点。

②针对未来作战对象的通信对抗装备水平、作战思想、作战方法、通信对抗部队的特点等来研究制敌对策。

③针对我国的地理环境进行研究,我国幅员辽阔、国境线漫长、地理条件非常复杂、作战对象多元化,这将对通信对抗的作战原则、方法、样式等产生一定的影响,因此,应研究符合我国国情的通信对抗方式。

二、开展具有我军特色的通信对抗理论研究。

借鉴发达国家的通信对抗理论,立足于我军目前和中远期武器装备条件,努力探索符合我军实际作战能力的通信对抗手段和方法。既要注意研究发掘我军现有通信对抗手段的潜力,又要注意研究电子技术发展给未来通信对抗产生的影响,使我们的通信对抗理论居于世界先进水平。

三、加强通信对抗综合一体化研究。

通信对抗的综合一体化是我军今后电子战发展的一个主要方向,加紧开发研制能满足未来战争需要的陆、海、空、天综合一体化 C⁴ISR 系统,在对现有的通信对抗作战能力进

行加强的同时，继续提高其作战效能。特别是机载和星载通信电子战系统是我军目前的弱项，应加大研制和发展的力度。

四、发展和研制三军通用的通信对抗设备与装备。

现有装备的改进及新装备的研制必须向三军通用的方向发展，并以发展机载与星载通信电子战装备为重点。

§ 2.8 小结

本章简要介绍了通信电子战的概念、发展历史、分类和通信干扰的原理、应用、设备与装备以及与通信干扰相关的抗干扰通信技术等，是通信干扰的基础知识。对通信干扰技术的发展趋势进行了论述，对我军未来电子战的研究与发展提出了建议。以上知识对于理解通信威胁评估与资源分配将有所帮助。

第三章 面向任务的通信威胁评估方法

确定目标的压制排序,随战场态势和作战任务而改变。现代高技术局部战争战场态势瞬息万变,敌方通信网络的拓扑结构、通信设备的参数设置、位置、开关机时间等均处于不断的变化之中,随着我军执行不同的作战任务,干扰资源分配和干扰的方法和策略也应做适当的调整。因此,通信体系对抗也是一个以作战任务和目标选择为驱动的动态变化的过程。但在作战的某一特定时刻,我军执行一定的作战任务,面对敌军相对稳定的通信态势,可以对其各种相关的通信设备和重要通信链路进行威胁排序,以便于确定我军的干扰方法和策略,并进行相应的干扰资源的分配。

§ 3.1 通信威胁评估概述

通信威胁评估是进行干扰资源分配的基础。它主要针对通信接收机,在敌方通信设备运行期间,往往运用火力摧毁或者利用电磁压制进行干扰,以使其通信失效。现代战争战场态势瞬息万变,通信干扰也应该是面向任务的动态变化的过程。在战争的某一阶段,针对具体的作战任务和当前的战场态势,评估敌方相关通信链路的威胁程度,并对之进行排序,为指挥员进行干扰决策提供科学的、实时的辅助参考是通信威胁评估的主要功能。

§ 3.2 通信威胁评估方法

目前还没有一种非常有效的通信威胁评估方法,传统的电子干扰理论和评估技术只考虑能量即功率的压制,但随着通信技术的发展,各种抗干扰技术的广泛应用,单纯从能量方面研究通信压制已不能适应现代战争的需要。为此本文对传统的通信威胁评估方法进行改进,提出运用层次分析法进行通信威胁评估的方法。它以传统的能量压制为基础,充分考虑了各种低截获概率通信技术和面向任务的通信威胁程度,即通信链路的战术重要性,是定性与定量的结合,既体现了指挥员的作战经验、对战场态势的准确评估,也包含了传统的能量压制、技术手段等。

§ 3.2.1 通信威胁评估的体制

通信威胁评估的基础是分析和判断全局的通信态势,做到“知己知彼,百战不殆”,特别是掌握敌军的通信意图、通信网络的拓扑结构等。在此基础上基于我军的作战任务,分析可能对我军构成威胁的敌军作战单元及其相互之间的通信链路情况,选择其中对我双方都至关重要的高价值目标作为我军实施通信干扰的目标链路。运用层次分析法建立威胁评估的层次结构,结合通信侦察获得的情报,计算敌军重要通信链路对我军执行作战任务的威胁指数,并进行排序。总的体制结构如图 3-1 所示^[22]。

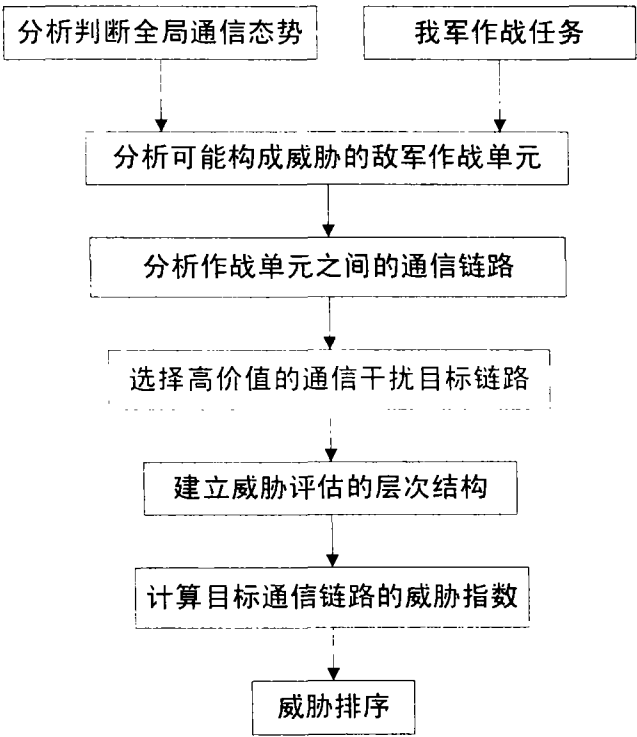


图 3-1 通信威胁评估体制图

§ 3. 2. 2 分析判断全局通信态势

分析判断战场通信态势是为了对整个战场通信态势及敌方通信意图做出判断，并使指挥员有足够的时间选择最佳作战（干扰）方案，可以减少战场上的不确定性，并增强发挥通信电子战优势的信心。

分析判断态势，主要提供如图 3-2 所示的资料。

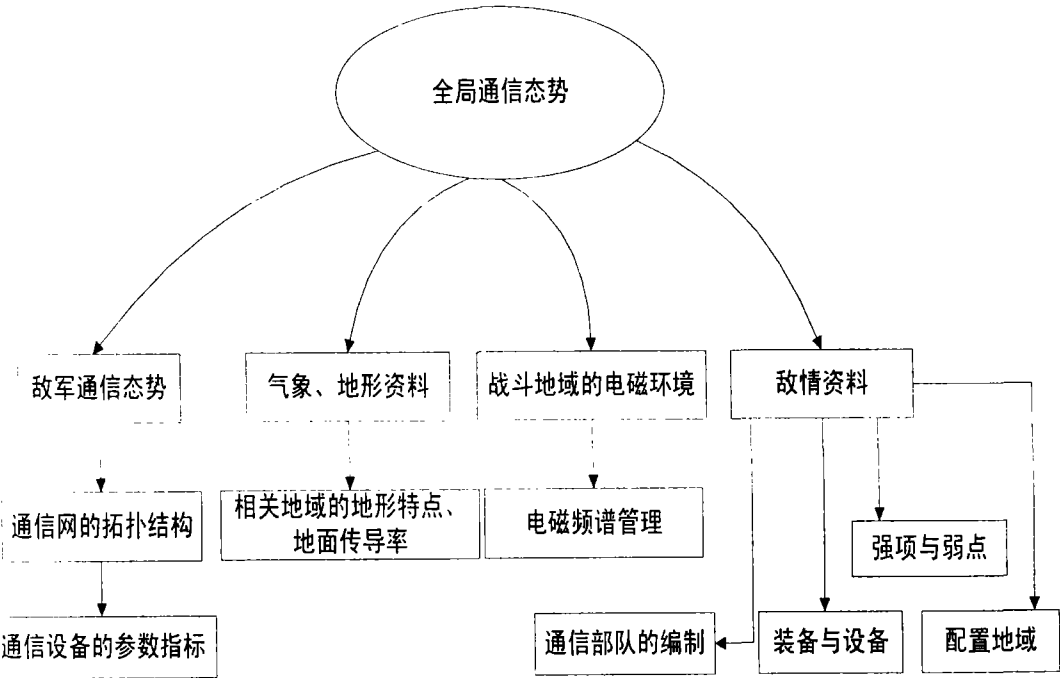


图 3-2 分析判断全局通信态势所提供的资料图

一是整个战场敌我双方的通信态势，特别是敌方的通信态势。包括其通信网的拓扑结构、组成，各通信设备详细的参数指标等等。二是所关心地域的气象、地形资料和电磁环境等。关心地域是指我方执行某一作战任务时可能涉及到的敌方作战地域，随着作战任务的不同而改变。气象、地形和电磁环境对通信干扰可能比任何其它具体因素（如战斗人员、通信装备等）有更大的影响。指挥员必须详细了解这些情况，熟知利用这些自然环境的方法，以便有效地使用它们为执行作战任务服务。三是敌情资料，包括敌方的通信部队编制、装备、战斗力、配置的强点和弱点，及其通信能力、局限性和活动方式。四是要提供敌方在通信对抗方面的技术和人员方面的弱点，以及敌方的通信意图^[22]。

§ 3.2.3 作战单元威胁排序和干扰目标的选择

降低敌军通信的有效性，破坏敌军指挥机构对其战争力量的有效使用是通信干扰的最终目的。干扰的功能是中断、破坏或者延迟敌军对其无线电信号的有效接收。综合的一体化通信干扰首先是由作战和情报部门根据敌军各作战单元对我军执行作战任务的潜在的威胁程度进行作战单元的威胁排序。

一、作战单元排序的一般规则^[9]。

作战单元是指敌军与我军执行一定的作战任务相关的作战单元，如预警机、指挥控制中心、防空阵地等。一般情况下，作战和情报部门对敌方武器系统的可能威胁程度的排序规则为：

①侦察系统。

具有最高威胁等级的是敌军的侦察系统。因为侦察系统能向其它武器系统提供情报和预警，往往是敌军的侦察系统最早发现我军的进攻机群。对侦察系统通信的干扰可以有效地中断、破坏或者延迟敌军侦察、预警信息的传输。

②武器系统的指挥控制中心。

指挥控制中心的威胁居次。敌指挥控制中心在得到我进攻部队信息后，会综合各方面的情报和信息，进行融合和相应的处理，判断我军的作战意图，并将相应的作战方案下达到具体的作战单元，以进行拦截和攻击。对其重要通信链路的干扰能够在一定程度上迟缓敌军的作战行动。

③直接的火力单元。

直接火力单元是指那些可以对我军进行直接火力攻击的敌军武器系统，如我军轰炸某一防空阵地时，敌军导弹或高炮防空阵地就是直接火力单元。敌军这些武器系统的威胁等级居第三。对敌军直接火力单元与指挥控制中心之间的重要通信链路进行干扰，可以破坏敌军的指挥系统，使指挥员的命令无法迅速、及时地传达到相关作战单元，从而保护我军进攻部队。

④机动部队。

敌军的机动部队威胁等级为第四。因为敌军的作战单元大多处于防御位置，机动性的好坏决定着能否对我军的作战单元迅速形成威胁。

⑤电子战威胁。

敌军的电子战威胁，尤其是电子干扰部队一般可列为第五。因为敌军的电子战部队，特别是电子干扰部队不必依赖通信侦察即可获知。在战争的初始阶段，所有战斗部署按预先制定的方案执行，我军作战单元间的通信联络相对较少。随着战场态势的发展，我军的

通信联络可能越来越频繁，越来越重要，这时必须使用通信侦察设备确定敌军电子干扰部队的具体位置，并用火力单元摧毁。

⑥近距离的支援部队。

近距离的支援的威胁等级排第六。因为敌军只有确定我军的作战意图以后才会采取近距离的支援，而空军作战往往强度大，持续时间短，有时敌军来不及进行支援。

⑦其它。

其它的作战单元的威胁居最后。

二、用二元组表示作战单元之间相对的重要性。

用一个二元组表示两个作战单元的相对重要性，如 $\langle A, B \rangle$ 表示作战单元 A 比作战单元 B 重要。二元组具有传递性，即如果有 $\langle A, B \rangle$ 和 $\langle B, C \rangle$ ，则 $\langle A, C \rangle$ 也成立。作战单元之间两两比较，形成许多二元组，它们可以形成作战单元的威胁排序多元组。如由二元组 $\langle A, B \rangle$ 、 $\langle B, C \rangle$ 、 $\langle C, E \rangle$ 、 $\langle E, D \rangle$ 、 $\langle D, F \rangle$ ，则可以得到作战单元的战术重要性排序多元组 $\langle A, B, C, E, D, F \rangle$ 。

三、确定高价值目标。

所谓高价值目标是指将其摧毁或进行有效的通信干扰以后可能使敌方某项重要的战场功能严重下降的目标。高价值目标包括敌方的预警机、指挥控制系统、通信装备与设备以及能够直接攻击我方的作战单元等。高价值目标的选取是面向作战任务的，如在夺取制空权的空战中，敌方预警机、作战飞机之间的通信链路是高价值目标，防空阵地与指挥控制中心之间的通信链路则不是高价值目标，但在执行轰炸任务时，后者则成为高价值目标。高价值目标一旦被我军实施干扰，就能使敌军的指挥、控制或者有效实施作战行动的能力严重下降。

四、干扰目标通信链路的选择。

所谓目标指的是那些高价值目标中计划用通信干扰设备对其进行干扰的敌方重要通信链路或设备（通信接收机）。攻击敌方最关键的首要目标，可以剥夺敌人的制电磁权，保证我方火力单元顺利完成任务。根据敌军相关作战单元之间的通信网络拓扑结构，选择其中重要的通信链路作为通信干扰的目标链路。假设敌军相关作战单元构成的通信网络如图 3-3 所示。

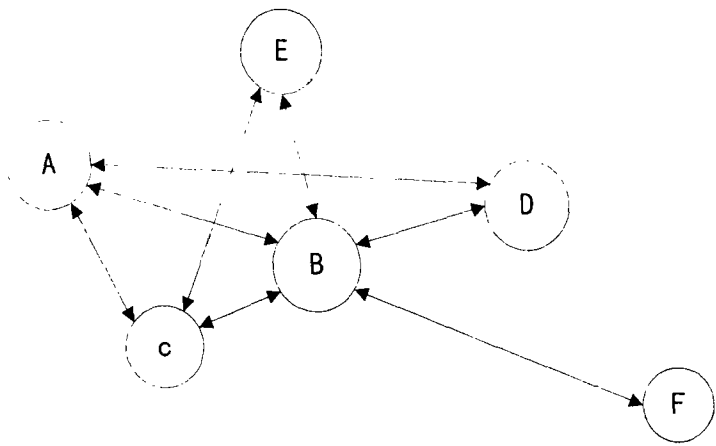


图 3-3 敌军通信网络的拓扑结构图

其中 A 为敌军的侦察系统，如预警机等，B 为指挥控制中心，C 为直接火力单元，E 为电子干扰部队，D 为支援部队，F 为其它部队。如果我军执行轰炸 C 阵地的任务，根据作

战规则，指挥员的作战经验和军事专家的作战知识，在敌军作战单元的重要性排序形成的多元组<A, B, C, E, D、F>中，选择重要作战单元之间的通信链路，如 A→B、B→C 和 A→C 的通信链路是重要的通信链路。如果这些链路被我军有效地进行了通信干扰，则侦察系统的信息无法及时传输到指挥控制中心，也不能指挥和引导敌军武器系统对我军实施拦截和攻击，指挥控制中心的指令无法及时准确地传达到直接攻击我作战机群的武器系统，也无法及时调动部队进行增援等。如果能有效地对上述通信链路进行干扰，则能够延迟、破坏甚至于完全压制敌军的通信，使敌军的整体作战效能大大降低。

§ 3. 2. 4 基于层次分析法的通信威胁评估

一、层次分析法。

层次分析方法（Analytic Hierarchy Process: AHP）是美国运筹学家匹茨堡大学教授 T.L.Saaty 于 20 世纪 70 年代初，在为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”课题时，应用网络系统理论和多目标综合评价方法，提出的一种层次权重决策分析方法，是一种用来确定某一目标的各影响因素权值的综合分析方法。层次分析法在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化，从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。尤其适合于对决策结果难于直接准确计量的场合。

- 层次分析法的基本步骤是：
- ①建立决策问题的层次结构模型，一般分为三层，最上层为目标层，最下层为方案层，中间为指标层；
 - ②通过相互比较确定各指标对于目标的权重，以及方案对于每一指标的权重；
 - ③将方案层对指标层的权重及指标层对目标层的权重进行综合，最终确定方案层对目标层的权重^[24]。

二、通信威胁评估的层次结构。

通信威胁评估的层次结构分为：

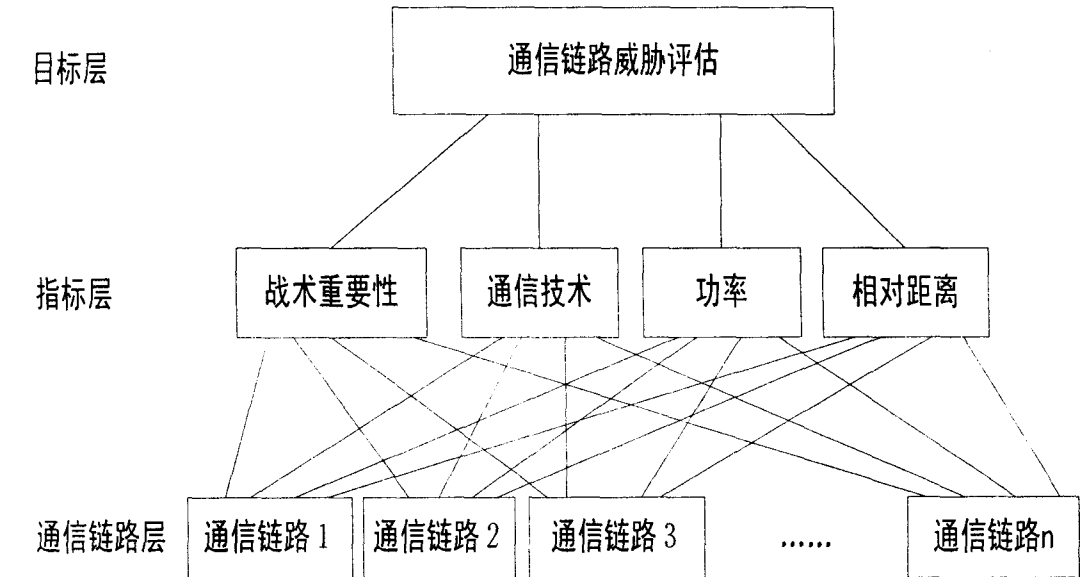


图 3-4 通信威胁评估的层次结构图

①目标层，即通信链路的威胁评估；②指标层，主要是威胁评估需考虑的参数指标，

包括目标的战术重要性、目标发射机与接收机采用的通信技术、发射机的功率以及发射机、干扰机与接收机之间的相对距离等；③通信链路层，主要是根据作战规则或者指挥员指定的准备进行干扰的敌军重要通信链路。其结构如图 3-4 所示。

目标层：通信链路威胁评估，是指将敌军各通信链路的威胁指数按照由大到小的顺序进行排列。

指标层包括：①战术重要性：依据目标通信链路的战术重要性确定的威胁指数。在我军执行具体的作战任务时，敌军各通信链路的战术重要性明显不同，如空战中预警机—战斗机之间的通信链路要比指挥控制中心与防空导弹阵地之间的通信链路重要的多。②通信技术：依据目标采用的通信技术确定的对我军的威胁指数。现代战场上所采用的通信技术主要可以分为：抗干扰通信技术，如快速跳频通信（每秒钟 1000 跳以上）、扩频通信技术、猝发通信技术，混合体制通信技术等等；一般通信技术，如中速跳频通信技术（每秒钟 100-1000 跳）、慢速跳频通信技术等；易受干扰的通信技术，如模拟通信技术，定频通信技术等。敌军所采用的通信技术的抗干扰性能越好，对我军的作战行动的威胁程度越高，我军进行通信干扰的难度也越大。③功率—依据敌军发射机的发射功率确定的威胁指数。一般单兵使用的通信发射机功率在 10W 以下，小型通信机的发射功率在 10-100W 之间，大型通信设备的发射功率在 100W 以上，可达数百瓦。由于有效的通信干扰必须是在敌军接收机端所接收的干扰机功率大于发射机功率，因此，在一定程度上发射机的发射功率决定干扰机输出的干扰功率，发射机的发射功率越大，所需干扰机的干扰功率也越大，有效干扰的难度也越大。④相对距离—依据发射机、接收机的距离和干扰机、接收机之间的距离确定的威胁指数。由通信干扰的计算公式可以看出，在发射机与接收机距离一定的情况下，干扰机离接收机距离越远，所需的干扰功率越大，而每次执行任务，我军干扰机又不可能离接收机的距离太近，因为这样很可能受到敌军战斗机或者防空导弹和高炮的威胁。因此，与干扰机和接收机距离相比，发射机与接收机的距离越近，对我军的威胁越大。

通信链路层：包括被选中进行通信干扰的敌军重要通信链路。

根据以上层次结构图，可以计算各通信链路对我军执行一定的作战任务的威胁指数，并进行威胁排序。

三、通信链路威胁指数的计算方法。

在通信链路威胁评估的层次结构图中，将指标层的战术重要性、通信技术、功率和相对距离分别记为 a_1 、 a_2 、 a_3 和 a_4 ，由军事专家根据表 3-1 打分，可以得到一个 4×4 的成对比较矩阵 A。

表 3-1 层次分析法两两比较标度

标 度 a_{ij}	定 义
1	i 因素与 j 因素相同重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素较重要
7	i 因素比 j 因素非常重要
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2, 4, 6, 8	以上两判断之间的中间状态相应的标度值
倒 数	若因素 j 与因素 i 相比较，得到判断值为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

其中 a_{ij} ($1 \leq i \leq 4, 1 \leq j \leq 4$) 表示 a_i 与 a_j 对于通信威胁排序的重要性之比。显然有 $a_{ii}=1$ 。由于 $a_{ij}>0$, $a_{ji}=1/a_{ij}$, A 为一个正互反矩阵。计算矩阵 A 的特征值, 取其中最大者记为 λ , Saaty 将

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

定义为一致性指标。 $CI=0$ 时, A 为一致阵; 所谓一致阵是指对于一个任意的 n 阶正互反矩阵 A , 有 $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$ 成立, 其中 $i, j, k=1, 2, 3, \dots, n$ 。 CI 越大 A 的不一致程度越严重。将 CI 与随机一致性指标 RI (根据 Saaty 提供的 RI 的数值, 如表 3-2 所示) 相比较, 计算矩阵的一致性比率 CR , 当

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$$

表 3-2 Saaty 算出的随机一致性指标 RI 的数值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

时, 认为 A 的不一致程度在容许的范围内, 可以用其特征向量作为权向量, 否则要重新进行成对比较, 对 A 加以调整。当矩阵 A 通过了以上的检验, 称为一致性检验, 则 λ 对应的特征向量记为 $w^{(1)} = (u_1, u_2, u_3, u_4)^T$ 可以作为指标层对于目标层的权向量。

同理可以分别计算第三层的各通信链路对于第二层指标层的相对权重, 将这些权向量记为特征向量 $w^{(2)}$ 的列向量, 即 $W^{(2)} = (v_1, v_2, v_3, v_4)$, 记

$$w = w^{(2)} \cdot w^{(1)} = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$$

则向量 w 即为各通信链路的威胁指数向量。将 $w_i (1 \leq i \leq n)$ 按照由大到小的顺序进行排列, 即为各通信链路的威胁排序。

§ 3.3 通信威胁评估的应用实例

一、战术想定。

以上面提出的我军轰炸机执行轰炸敌军某一防空导弹阵地的任务为例, 根据侦察, 对我军执行这一任务构成威胁的敌军武器系统主要有预警机、战斗机、电子干扰机、指挥控制中心、防空导弹阵地、近距离支援部队等, 它们之间的通信链路如图 3-5 所示。

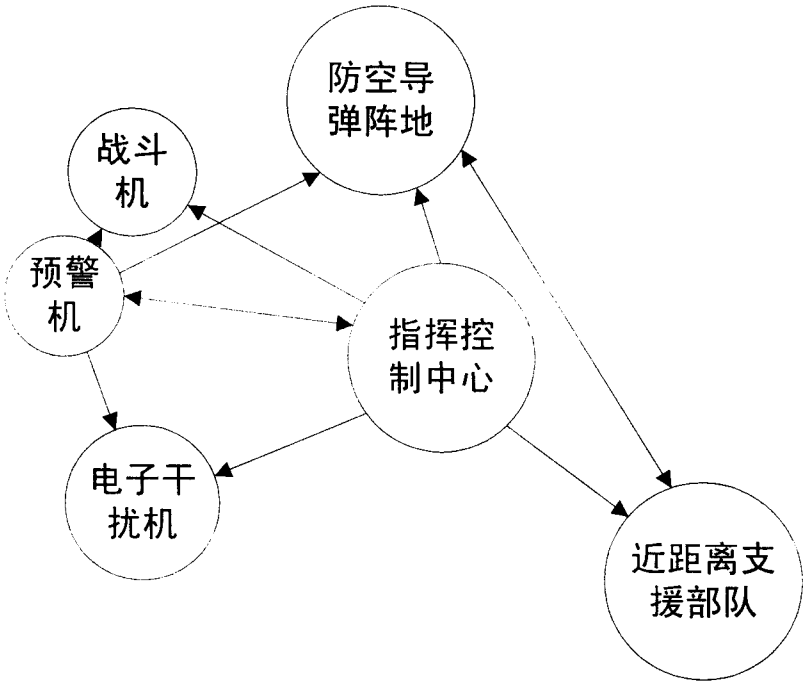


图 3-5 敌军武器系统的通信网络拓扑结构图

作战单元威胁排序形成的多元组为〈预警机、指挥控制中心、防空导弹阵地、近距离支援部队、战斗机、电子干扰机〉。指挥员或专家根据作战经验和实战需求，选择其中对敌我双方都至关重要，能够决定我军是否顺利作战任务的重要通信链路，如预警机→防空导弹阵地、预警机→指挥控制中心、指挥控制中心→防空导弹阵地、指挥控制中心→近距离支援部队和预警机→战斗机等。分别记为通信链路 1 (R_1)、通信链路 2 (R_2)、通信链路 3 (R_3)、通信链路 4 (R_4) 和通信链路 5 (R_5)。这些链路的敌军通信设备的相关参数如表 3-3 所示。

表 3-3 敌军重要通信链路的参数指标

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
通信技术	中速跳频	扩频	快速跳频	定频	慢速跳频
发射机海拔高度	385m	385m	360m	360m	385m
发射功率	60W	45W	108W	90W	30W
频率范围	1.5-100MHz	2-150MHz	35-280MHz	2-30MHz	3-65MHz
发射接收机距离	75Km	120Km	90Km	140Km	45Km
干扰接收机距离	120Km	160Km	82Km	150Km	60Km

二、建立威胁评估的层次结构图。

根据层次分析法的原理，可以建立如图 3-6 所示的层次结构图。

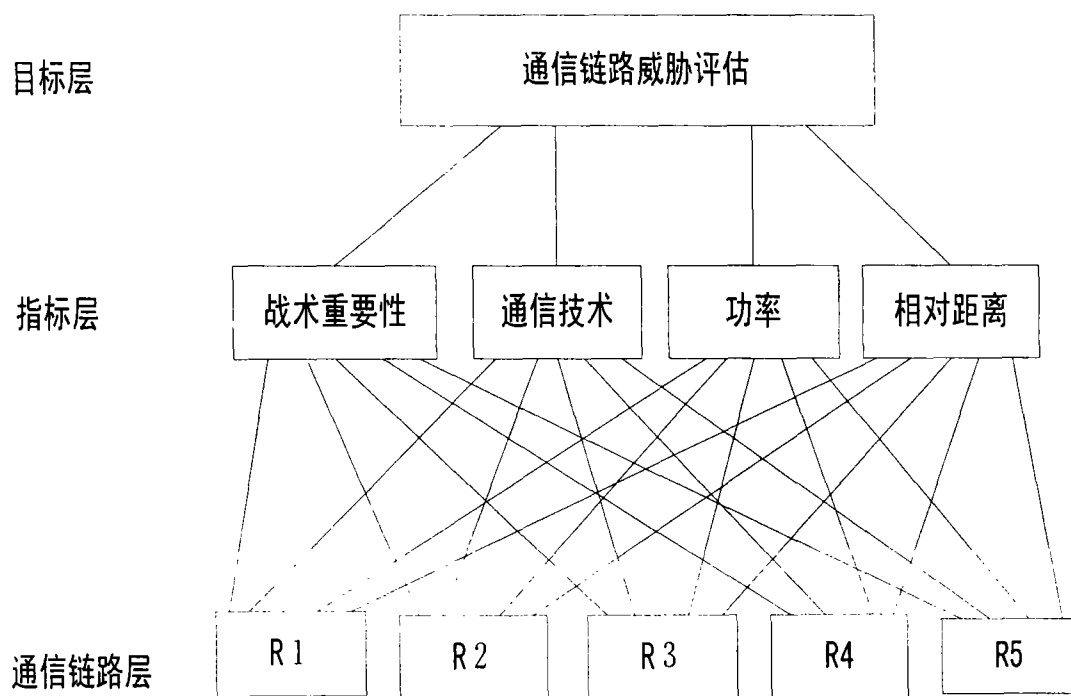


图 3-6 通信威胁评估的层次结构图

目标是对各通信链路进行威胁评估，评估的指标包括链路的战术重要性、所采用的通信技术、发射机的功率大小、发射机与接收机和干扰机与接收机之间距离相对大小等。共包括 5 条重要通信链路。

三、计算指标层对目标层和通信链路层对指标层的权重。

由指挥员或者军事专家根据 3.2 节提供的方法，对指标层的各个指标进行两两比较，建立成对比较矩阵 A。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 9 \\ \frac{1}{5} & 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

采用近似方法（简称方根法）计算比较矩阵的最大特征值和特征向量。

第一步，求矩阵中每行元素的几何平均值

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

得到 $\bar{W} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \bar{w}_3, \bar{w}_4)^T = (4.21, 1.31, 0.56, 0.32)^T$

第二步，将 \bar{w}_i 归一化，即

$$w_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{W_i}} = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^4 \overline{W_i}}$$

得到, $W^{(1)} = (u_1, u_2, u_3, u_4)^T = (0.66, 0.20, 0.09, 0.05)^T$, $W^{(1)}$ 即为所求特征向量, 也就是各统计指标的相对权重。

第三步, 求矩阵的最大特征值 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}W_j}{W_i} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{\sum_{j=1}^4 a_{ij}W_j}{W_i} = 4.04$$

式中, $(AW)_i$ 为向量 AW 的第 i 个元素。

其一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = \frac{4.04 - 4}{4-1} = 0.013$$

一致性比率:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.013}{0.90} = 0.014 \quad (n=4 \text{ 时}, RI=0.90)$$

显然 0.014 远远小于 0.1, 则向量 $W^{(1)} = (u_1, u_2, u_3, u_4)^T = (0.66, 0.20, 0.09, 0.05)^T$ 作为各指标层对目标层的相对权重是较为可靠的。

同理, 根据军事专家和指挥员的打分建立各通信链路层对指标层的成对比较矩阵, 依次记为矩阵 B_1 , B_2 , B_3 和 B_4 , 分别为

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 5 & 4 \\ 3 & 1 & 2 & 8 & 7 \\ 2 & \frac{1}{2} & 1 & 8 & 7 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 5 & 3 \\ 4 & 1 & 1 & 9 & 6 \\ 4 & 1 & 1 & 9 & 6 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{6} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 2 \\ 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 2 \\ 3 & 3 & 1 & 2 & 5 \\ 2 & 2 & \frac{1}{2} & 1 & 3 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \quad B_4 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} \\ 3 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \\ 6 & 3 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 2 & \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ 3 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

分别求出 B_1 , B_2 , B_3 和 B_4 对应的各通信链路对指标层的相对权重向量 $W_1^{(2)}$ 、 $W_2^{(2)}$ 、 $W_3^{(2)}$ 和

$W_4^{(2)}$ ，最大特征向量 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 和 λ_4 及其一致性指标 CI_1 、 CI_2 、 CI_3 、 CI_4 ，以及一致性比率 CR_1 、 CR_2 、 CR_3 、 CR_4 ，如表 3-4 所示。

表 3-4 通信链路层对指标层的权重及其相关参数

k	1	2	3	4
$W_k^{(2)}$	0.172	0.131	0.135	0.055
	0.434	0.388	0.135	0.142
	0.308	0.388	0.414	0.415
	0.037	0.035	0.241	0.247
	0.054	0.060	0.074	0.142
λ_k	5.107	5.097	5.017	5.035
CI_k	0.027	0.024	0.004	0.009
CR_k	0.024	0.021	0.004	0.008

显然 CR_k 都远远小于 0.1，因此， $W_k^{(2)}$ ($k=1, 2, 3, 4, 5$) 可以作为各通信链路层对指标层的相对权重。则通信链路层对指标层的权重向量为：

$$W^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.172 & 0.131 & 0.135 & 0.055 \\ 0.434 & 0.388 & 0.135 & 0.142 \\ 0.308 & 0.388 & 0.414 & 0.415 \\ 0.037 & 0.035 & 0.241 & 0.247 \\ 0.054 & 0.060 & 0.074 & 0.142 \end{bmatrix}$$

通信链路层对目标层的相对权重为

$$W = W^{(2)} \times W^{(1)} = (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) = \begin{bmatrix} 0.172 & 0.131 & 0.135 & 0.055 \\ 0.434 & 0.388 & 0.135 & 0.142 \\ 0.308 & 0.388 & 0.414 & 0.415 \\ 0.037 & 0.035 & 0.241 & 0.247 \\ 0.054 & 0.060 & 0.074 & 0.142 \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} 0.66 \\ 0.20 \\ 0.09 \\ 0.05 \end{bmatrix} = (0.155, 0.383, 0.339, 0.065, 0.061)^T$$

W 中各元素即为各通信链路相对于目标—通信威胁评估的权重。

四、通信威胁排序

由 W 即可看出, 敌军各条通信链路对我军的威胁指数分别为预警机→防空导弹阵地(0.155)、预警机→指挥控制中心(0.383)、指挥控制中心→防空导弹阵地(0.339)、指挥控制中心→近距离支援部队(0.065)和预警机→战斗机(0.061)。则敌军各条通信链路对我军的威胁由大到小的排序如图 3-7 所示:

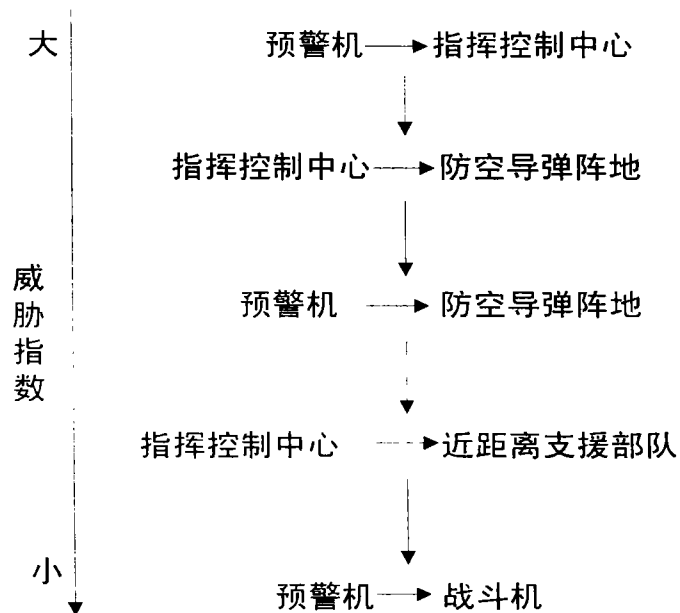


图 3-7 敌军重要通信链路的威胁排序图

由上图可见, 预警机与指挥控制中心之间的通信链路对我军的威胁最大, 指挥控制中心与防空导弹之间的通信链路的威胁次之, 威胁最小的是预警机与战斗机之间的通信链路, 因为一般在执行轰炸任务时, 多数要有战斗机护航。

§ 3.4 小结

本章介绍了通信威胁评估的体制, 特别是基于层次分析法的通信威胁评估方法, 为体现高技术局部战争中战术的重要性以及通信技术与抗干扰通信技术的发展, 对传统的威胁评估进行了改进, 充分考虑了目标链路的战术重要性和采用的抗干扰通信技术手段, 是一种更加贴适于实战需要的通信威胁评估方法。

第四章 通信干扰的资源分配

通信干扰资源分配方法涉及通信干扰的原则、干扰的装备和设备、作战过程和干扰目标等问题。目前,最通用的是基于作战过程的通信干扰资源分配方法,基于作战过程的通信干扰资源分配是指根据作战的不同阶段分配通信干扰资源并相应地进行协调和控制。这种干扰方法适用于作战双方电子战力量相差悬殊的情况,由于较弱的一方无法组织有效的抗干扰通信,因此强的一方不必基于作战目标和任务集中相关的通信干扰资源,而是在作战的某一阶段,使用专用的通信干扰飞机对可能威胁进攻部队的广大区域内的敌军通信链路进行压制性干扰。我军目前电子战力量相对薄弱,在作战过程应该多采用基于一定的作战目标和任务的通信干扰方式。在执行一定的作战任务时,合理分配和优化干扰资源,保证作战任务的顺利完成。

§ 4.1 通信干扰的资源分配方法

通信干扰的资源分配是在通信侦察的基础上,针对敌方目标通信链路的数量、威胁排序、威胁时间,结合我方现有的通信干扰资源以及战术要求,运用各种干扰资源分配技术,对干扰资源进行合理的分配,以充分利用干扰资源的技术。通信干扰资源分配是否合理直接影响干扰方案的有效性,对战争胜负也起着非常重要的作用。

目前,电子对抗的研究,特别是通信和雷达对抗资源的分配,其原则主要是考虑干扰的覆盖面,而不是主要针对某一目标或基于某一具体任务的资源分配。在进行干扰目标分配的优化时,一般都考虑使得能够有效干扰的目标接收机的数量最大,干扰空域最广,但这种干扰方式多适用于不对称的战争,即作战双方的作战力量相差悬殊,弱的一方无法组织有效的电子对抗或者对敌方的电子战力量进行硬摧毁。因为基于覆盖面的通信干扰,要求通信干扰机距离敌方接收机较近,输出干扰功率较大,如果没有绝对优势的作战力量,容易受到敌方武器系统的威胁。根据军事理论的研究成果,对于作战双方力量相差不太悬殊的情况,基于作战任务和目标的通信干扰比基于覆盖面的通信干扰的效率。因此本文提出基于任务的以目标的重要通信链路排序为基础,运用连续循环布尔操作法实现的干扰资源的分配方案。

§ 4.1.1 通信干扰的基本准则

在通信系统中决定信道容量的三个基本要素是信道的作用时间 T 、信道频带宽度 B 和信道功率裕量 P 。 $V = T \times B \times P$ 代表的是无线电通信信道空间中的一个体积。它表明该信道所能包容的最大容量,即信道容量。任何一个信号也可以用三个特征参数来描述,即信号存在时间 T_s 、信号频谱宽度 B_s 和信号功率电平 P_s 。信号在某一信道中传输的条件是信号的体积 $V_s = T_s \times B_s \times P_s$ 必须不大于 V 。一个有效干扰,必须能够有效地通过通信信道。所以有效干扰的三要素,即干扰作用时间 T_j 、干扰带宽 B_j 和干扰功率 P_j 所包围的空间体积 $V_j = T_j \times B_j \times P_j$ 也必须不大于 V ,同时 V_j 要不小于 V_s ,所以有效干扰的 V_j 最好是充满 V ,即无冗余,又无不足。通信干扰的准则如图 4-1 所示。

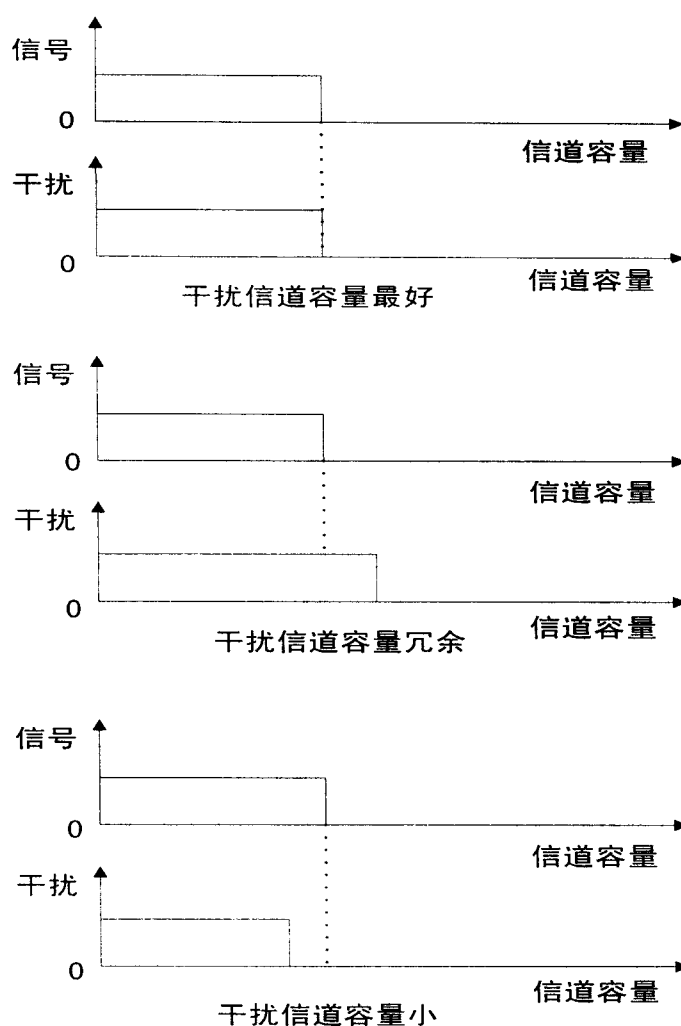


图 4-1 通信干扰准则图

1. 准则 1—时域准则

在无线电通信系统中消息的传输必须是无先验的或极少先验的。一方面被传送的消息中所包含的信息量与消息发生的概率有关，发生的越少所含信息量就越多。另一方面，消息的发生时间一般来说也是无先验或极少先验的，特别是对通信干扰方。因此，为获得有效干扰必须采取尽可能有效的措施保证干扰与信号在时域上的一致性，即时域上的瞄准。如果时域上不能瞄准，就可能出现无法及时有效地干扰敌军通信的情况；如果在敌人通信结束或并未通信时进行干扰，则会浪费干扰能量并且容易暴露自己。

干扰对信号在时域上的瞄准可以是连续的也可以是间断的，时域上的连续瞄准式干扰，即在信号存在期间一直发射干扰，信号始终为干扰所覆盖；间断的时域瞄准式干扰是当信号存在时并不连续覆盖，而是断续地覆盖。干扰段的持续时间及其间隔可以是均匀的，也可以是随机的。这种干扰方式效果稍差，但可以同时干扰多个目标接收机。干扰信号在时域上的瞄准方式如图 4-2 所示。

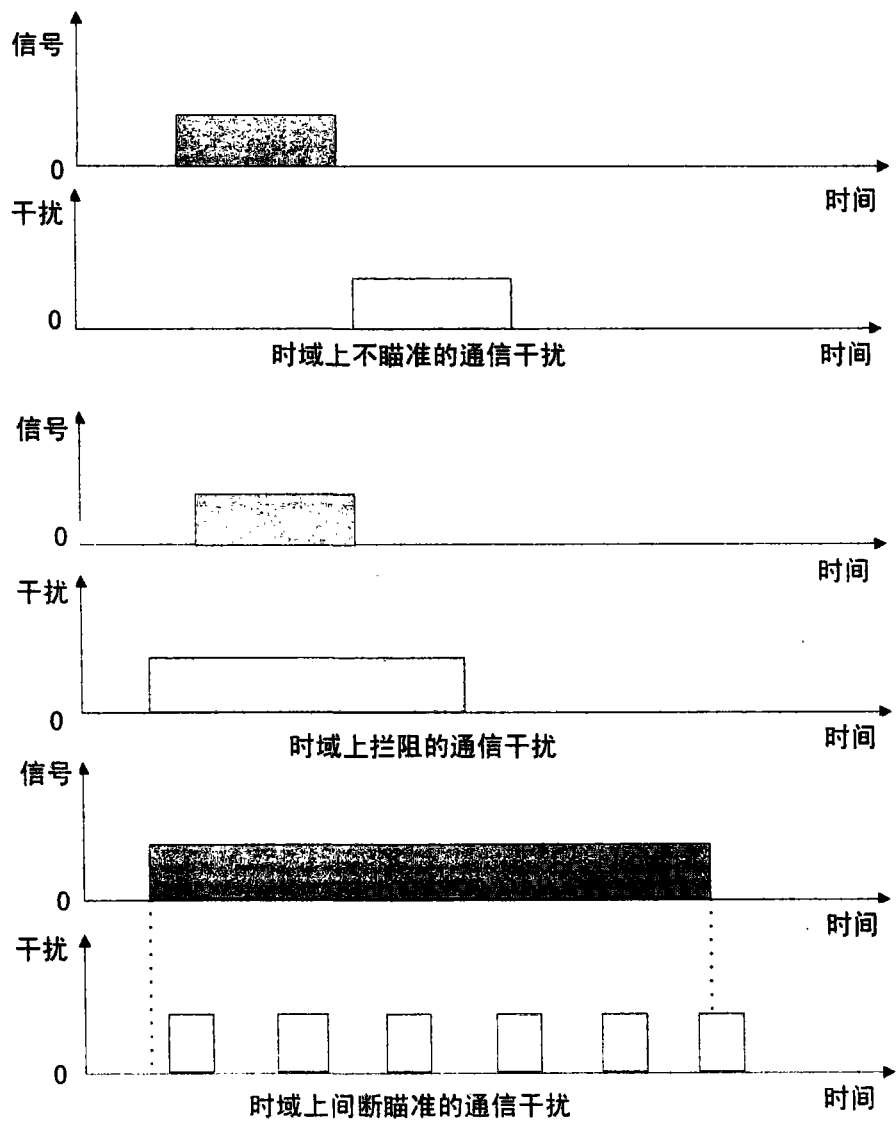


图 4-2 通信干扰的时域准则图

2. 准则 2—频域准则

带有信息的信号在通信发射机中对载频进行调制，信息存在于信号的带宽之中，无线电通信信号在频域内是以功率谱的形式存在的。通信接收系统为保证通信的可靠性，必须保证信号频谱能无失真地通过接收机选择系统，而对带外的干扰则应无条件地抑制掉。接收机选择系统是一频域选择系统，所以通信干扰必须要有与信号相近似的频域特性，才能成为有效干扰。这包括两个方面的含义：一是干扰载频与信号载频必须重合；二是干扰带宽与信号频谱宽度要一致。所以干扰带宽可以稍大于信号频谱宽度，即 $B_i \geq B_s$ 。干扰信号在频域上的瞄准方式如图 4-3 所示。

3. 准则 3—功率准则

当干扰功率与信号功率之比达到压制系数时，通信接收系统就被压制了^[18]。

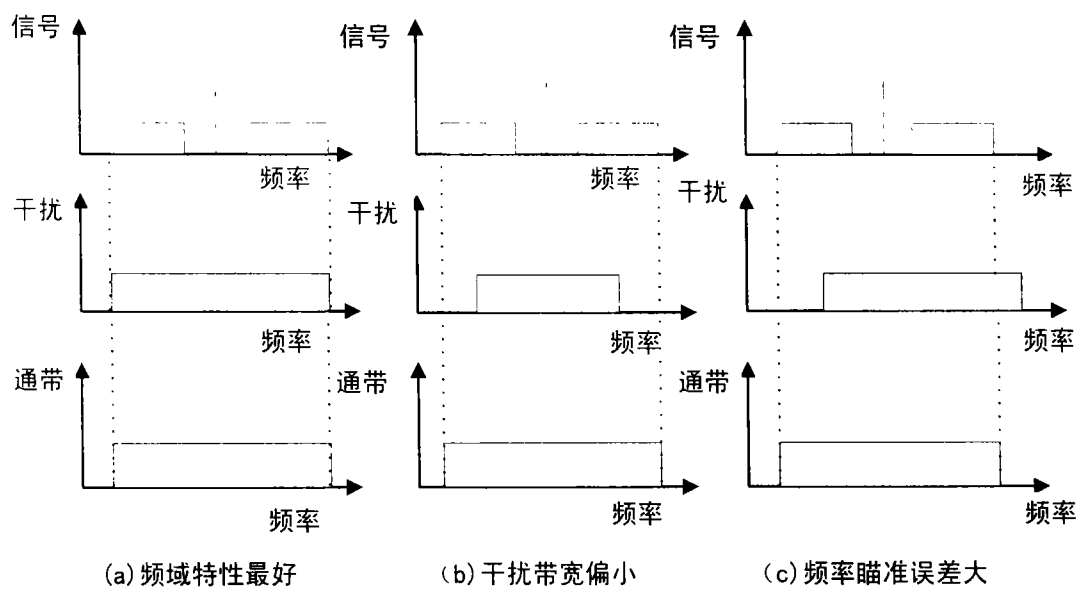


图 4-3 通信干扰的频域准则图

§ 4.1.2 通信干扰的计算

- (一) 相关缩写。
- P : 干扰机的输出功率;
 - P_s : 发射机的输出功率;
 - H_i : 干扰机的海拔高度。干扰机和发射机的高度不包括天线高度, 并且是所处位置的海拔高度。
 - H_s : 发射机的海拔高度;
 - D_i : 干扰机与接收机的距离;
 - D_s : 发射机与接收机的距离;
 - C : 干扰机与发射机的高度比系数因子 (干扰机与发射机的海拔高度不大于 10 米时, $C=1$, 大于 10 米时 C 的取值请参见表 4-1);
 - K : 用 2 表示已调节干扰频率时的接收机 (干扰机准确调频)。
 - n : 地形和地面传导率^[8]。
 - 5: 非常粗糙的地形 (石头山或者沙漠), 传导率差;
 - 4: 适当地形 (起伏的高山、森林和农场), 传导率适中;
 - 3: 起伏的丘陵 (农田), 传导率较好;
 - 2: 平原地形 (水平面、海洋、湖泊和池塘), 传导率好。
 - G_{is} : 敌军接收机在发射机方向上的增益;
 - G_{ir} : 敌军接收机在干扰机方向上的增益。

- (二) 计算公式^[9]。
- ①在计算我军干扰机所需最小干扰功率或者最大干扰距离时, 式中其它参数均为已知。
 - ②本计算公式假设在频域上我军干扰机的发射频率范围能够覆盖敌军接收机的接收

频率范围。

表 4-1 的使用方法：左侧 RATIO 为 H_j/H_i 值，取到小数点以后两位，在表中向下取近似值，如 1.28 取近似值为 1.25，结果大于 3 的都以 3 为准，这样可以保证实施有效通信干扰所需的足够的输出功率。

表 4-1 海拔高度比与系数因子对照关系表

RATIO	MULTIPLIER	RATIO	MULTIPLIER	RATIO	MULTIPLIER
0.05	400	1.05	0.91	2.05	0.24
0.10	44.5	1.10	0.83	2.10	0.23
0.15	25.0	1.15	0.76	2.15	0.22
0.20	16.0	1.20	0.70	2.20	0.21
0.25	11.2	1.25	0.64	2.25	0.20
0.30	8.2	1.30	0.60	2.30	0.19
0.35	6.3	1.35	0.55	2.35	0.18
0.40	5.0	1.40	0.52	2.40	0.17
0.45	4.0	1.45	0.48	2.45	0.17
0.50	3.4	1.50	0.45	2.50	0.16
0.55	2.8	1.55	0.42	2.55	0.15
0.60	2.4	1.60	0.40	2.60	0.15
0.65	2.3	1.65	0.37	2.65	0.14
0.70	2.1	1.70	0.35	2.70	0.14
0.75	1.8	1.75	0.33	2.75	0.13
0.80	1.6	1.80	0.31	2.80	0.13
0.85	1.4	1.85	0.30	2.85	0.12
0.90	1.3	1.90	0.28	2.90	0.12
0.95	1.2	1.95	0.27	2.95	0.11
1.00	1.0	2.00	0.25	3.00	0.11

注：对于海拔高度比 H_j/H_i 大于 3 的情况，系数因子一律取为 0.11。

③干扰公式：

根据美军信息战作战条令 FM 34-40-7 和实战经验,我方干扰设备的最小发射功率 P_j 的计算公式为:

$$P_j = P_t \times K \times (H_t/H_j)^2 \times (D_j/D_t)^n$$

以上公式适用于 H_j 与 H_t 相差小于 10 米的情况,当 H_j 与 H_t 相差大于 10 米时,则查表,将计算结果 P_j 乘以表中的系数 C,在天线的增益方面处理方法同上。为此以上公式可以改为:

$$P_j = P_t \times K \times C \times (H_t/H_j)^2 \times (D_j/D_t)^n \times G_{rt}/G_{rj}$$

这样公式可以适用于以上提到的各种情况。

也可以用接收机端的信噪比 J/S (单位为 dBm) 表示为:

$$J/S = 10 \log [K \times C \times (H_t/H_j)^2 \times (D_j/D_t)^n \times G_{rt}/G_{rj}] = 10 \log K + 10 \log C + 20 \log H_t - 20 \log H_j + 10n \log D_j - 10n \log D_t + 10 \log G_{rt} - 10 \log G_{rj}$$

根据美军电子战仿真实验结果和实战检验,认为当 $J/S \geq 10$ 时通信干扰是有效的。

我方干扰机距离敌方通信接收机的最远距离 D_j 计算公式为(假设我军干扰机的发射功率 P_j 为最大):

$$D_j = D_t \times \{P_j/[P_t \times K \times C \times (H_t/H_j)^2 \times G_{rt}/G_{rj}]\}^{1/n}$$

凡是我方通信干扰设备的最大发射功率大于所需干扰功率或者距离小于最大干扰距离者,则认为可以对敌方通信链路进行有效干扰,否则认为无法实施有效干扰^[25]。

§ 1.1.3 效益矩阵

通信干扰资源分配的原则是按照威胁评估排序的结果实施干扰,并使干扰获得的效益最大。假设我军有 m 种通信干扰设备,记为 J_1, J_2, \dots, J_m , 敌军有 n 条被选中进行干扰的通信链路,记为 R_1, R_2, \dots, R_n (假设 $m > n$)。根据敌军通信链路的战术重要性、通信干扰频率的瞄准程度、干扰功率与距离的大小、干扰时机和干扰样式等因素的综合,建立我军每一干扰机 i ($1 \leq i \leq m$) 对敌军每一条通信链路 j ($1 \leq j \leq n$) 的干扰效益矩阵 V 。

矩阵中 V_{ij} 表示我军干扰设备 i 对敌军通信链路 j 实施干扰时的干扰效益。 V 与干扰资源分配矩阵相乘即可得到对应于干扰资源分配方案的干扰效益。

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & \cdots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & \cdots & V_{2n} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & \cdots & V_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ V_{m1} & V_{m2} & V_{m3} & \cdots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

§ 4.1.4 基于连续循环布尔操作法的通信干扰资源分配方法

分别用我军的干扰设备对敌军每条通信链路进行干扰,能进行有效干扰则干扰结果记为 1,否则为 0,建立一个干扰效果矩阵 C ,第一列为我军相应的干扰设备,第一行为敌军被干扰的通信链路(按威胁排序由大到小排列),干扰效果矩阵中的数据则相应地为我军干扰设备对敌军通信设备进行干扰的干扰结果。矩阵为:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdots & c_{2n} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \cdots & c_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

其中 C_{ij} 为我军干扰设备 J_i 对敌军通信链路 R_j 的干扰效果,其取值为:

$$C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{我军通信干扰设备能够有效干扰敌军通信链路;} \\ 0, & \text{我军通信干扰设备不能有效干扰敌军通信链路。} \end{cases} \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n。$$

干扰资源分配的原则是:按敌军重要通信链路的优先级排序进行干扰,并尽量多地干扰敌军的通信接收机,最后取其干扰效益的最大者为最优干扰方案。

连续循环布尔操作法基于穷举法,其原理及操作步骤为^[32]:

- ①从第一列中第一个为 1 的元素开始,将此元素所在的行与列的所有其它元素清 0;
- ②在第二列中选择第一个为 1 的元素,将此元素所在的行与列的所有其它元素清 0;
- ③同理,在其它列中选择第一个为 1 的元素,并将所在的行与列的所有其它元素清 0,如果有某一行全 0,则继续选择下一列的元素,直到最后一列为止。得到一个每一行和每一列中最多只有一个 1 的 0 与 1 转换矩阵,与效益矩阵 V 相乘得到一个干扰效益值;
- ④从第一列的第二个 1 开始,将此元素所在的行与列的所有其它元素清 0,重复以上步骤,得到一个效益值;
- ⑤同理,判断从其它元素开始的情况,如果判断到第一列的最后一个为 1 的元素,则下一步从第二列的第一个为 1 的元素开始;
- ⑥按以上步骤循环往复,直到第一次判断的元素为最后一列的最后一个为 1 的元素结束,将所得转换矩阵的元素与效益矩阵相乘,得到一个效益值;
- ⑦将所得的效益值互相比,取其中最大值,它所对应的转换矩阵中元素 1 的位置信息就是干扰资源的分配方案。

注:干扰资源的分配方法假定我军一部干扰设备只能干扰一部敌军通信接收机。

§ 4.2 通信干扰资源分配的应用实例

一、军事规则及约束条件。

①敌军重要通信链路排序如上节所述,也可以由指挥员在执行任务前临时确定干扰目标排序。

②发射机、接收机和干扰机的天线均为全向天线，即所有天线在各个方向上的增益是相同的。与发射机距离为 R 的某一点单位面积上的功率密度 P_R 为：

$$P_R = P/4\pi R^2$$

③假设有效干扰时，干扰机的频率范围必须覆盖通信接收机的接收频率范围，

④在时域上我军通信干扰机根据作战需要在一个时段内准确对准敌军接收机，即根据作战需要调整开关机的时间，在进行干扰资源分配时，则不考虑时间问题。

⑤我军实施通信干扰支援的空域根据作战需要，可以是远距离支援干扰、近距离支援干扰、随队支援干扰等，在进行干扰资源分配时，只考虑其距离，不考虑其应用方式。

⑥对应于同一链路的多部干扰机，使用最大输出功率较小的干扰机时干扰效率相对高一些^[11]。

⑦我军一部干扰机只干扰敌军一部通信接收机。

二、干扰效果矩阵。

空军作战大多采用电子干扰飞机对敌军进行通信干扰，则所有干扰设备与敌方同一通信链路的距离相等，干扰机的海拔高度也全部相同，设为 380m。我军的干扰设备共有 6 部，分别记为 $J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6$ ，其相应的参数指标如表 4-2 所示^[42]。

表 4-2 我军干扰设备参数指标

	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6
最大干扰功率(W)	500	150	2000	200	1200	200
频率范围(MHz)	1.5-120	2-180	2-600	1.5-250	2.5-120	30-300
干扰机海拔高度(m)	380	380	380	380	380	380

注：我军干扰设备的高度和距离敌方通信接收机的距离可以根据战场态势的需要进行调整。

我军干扰机是否能够对敌军接收机实施有效通信干扰的计算方法是：

①对于我军的每一种干扰设备，首先检查其频率范围是否覆盖敌军接收机的频率范围，不能覆盖的，则干扰效果记为 0；

②根据干扰功率的计算公式

$$P_j = P_i \times K \times C \times (H_i/H_j)^2 \times (D_j/D_i)^n \times G_n/G_{ij}$$

或者

$$J/S = 10\log[K \times C \times (H_i/H_j)^2 \times (D_j/D_i)^n \times G_n/G_{ij}] = 10\log K + 10\log C + 20\log H_i - 20\log H_j + 10n\log D_j - 10n\log D_i + 10\log G_n - 10\log G_{ij}$$

其中 $K=2$ 表示干扰机准确调频，即在频域上准确对准接收机， $n=2$ 表示干扰机与接收机之间为平原（水平面、海洋、湖泊和池塘），地形和地面传导率好， C 为根据干扰机与发

射机海拔高度的比值在表 4-1 中查得的系数因子。此公式计算我军干扰机有效干扰敌军接收机所需的最小输出功率 P_j ，如果小于表中干扰机的最大输出功率，则干扰效果记为 1，否则记为 0。也可以根据干扰距离的计算公式

$$D_j = D_i \times \{P_j / [P_i \times K \times C \times (H_i / H_j)^2 \times G_{ri} / G_{rj}]\}^{\frac{1}{n}}$$

计算我军干扰机在调整到最大输出功率时，对敌军接收机的最大干扰距离，如果干扰机与接收机的距离小于 D_j ，则干扰效果记为 1，否则记为 0。

根据以上提供的干扰算法，我军干扰设备对敌军重要通信链路的干扰效果矩阵为 C 。

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

三、建立干扰效益矩阵。

前文提过干扰效益矩阵与敌军通信链路的战术重要性、干扰频率的瞄准程度、干扰功率与距离的大小、干扰时机和干扰样式等因素有关，在此不多赘述，为便于说明干扰资源的分配方法，仅建立如下的干扰效益矩阵 V 。

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & v_{14} & v_{15} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & v_{24} & v_{25} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & v_{34} & v_{35} \\ v_{41} & v_{42} & v_{43} & v_{44} & v_{45} \\ v_{51} & v_{52} & v_{53} & v_{54} & v_{55} \\ v_{61} & v_{62} & v_{63} & v_{64} & v_{65} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.87 & 0.57 & 0.46 & 0.27 & 0.18 \\ 0.90 & 0.60 & 0.50 & 0.30 & 0.20 \\ 0.80 & 0.50 & 0.40 & 0.20 & 0.10 \\ 0.89 & 0.58 & 0.47 & 0.28 & 0.17 \\ 0.84 & 0.55 & 0.45 & 0.25 & 0.15 \\ 0.89 & 0.58 & 0.47 & 0.28 & 0.17 \end{bmatrix}$$

其中 v_{ij} 表示我军干扰设备 J_i ($1 \leq i \leq 6$) 对敌军通信链路 R_j ($1 \leq j \leq 5$) 的干扰效果，其取值范围为 (0, 1)。

四、计算各种干扰资源分配方案的效益值。

根据第四章提供的干扰资源分配算法和上表，可以进行干扰资源的分配。

- ①从第一列中第一个为 1 的元素 c_{31} 开始，将它所在的行与列的所有其它元素全部清 0；
- ②剩下的元素中，第一个为 1 的元素是第二列的 c_{62} ，同理，将它所在的行与列的所有其它元素全部清 0；

- ③以此类推，直到所有行与列的元素全部为 0，可以得到一个转换矩阵 H_1 ，

将 H_1 中为 1 的元素与效益矩阵 V 中的对应元素相乘，并将结果进行求和运算，得到一个总体效益值 $V_1=2.32$ ；

- ④按照 4.1 节提供的算法，求出各种分配方案的效益值；

- ⑤取其中效益值最大的，它所对应的转换矩阵即为效益最大时的干扰资源分配方案。

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

⑥计算过程略，结果是效益最大值为 2.33，所对应的最佳干扰资源分配方案的转换矩阵为：

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

即干扰资源的分配方案如表 4-3 所示。

表 4-3 通信干扰资源的分配方案

	R_2	R_3	R_1	R_4	R_5
J_1	0	0	1	0	0
J_2	0	0	0	0	1
J_3	0	0	0	1	0
J_4	1	0	0	0	0
J_5	0	0	0	0	0
J_6	0	1	0	0	0

其中 1 表示对应的干扰机用于干扰敌军通信链路的接收机。也可用二元组表示为 $\langle J_1, R_1 \rangle$ 、 $\langle J_2, R_5 \rangle$ 、 $\langle J_3, R_4 \rangle$ 、 $\langle J_4, R_2 \rangle$ 、 $\langle J_6, R_3 \rangle$ 。其中 $\langle J_1, R_1 \rangle$ 表示干扰机 J_1 干扰敌军通信链路 R_1 。

§ 4.3 通信干扰的时间与空间

一体化的通信干扰不仅要考虑干扰功率、干扰距离等问题，时间和空间也是非常重要的因素。通信干扰必须伴随一定的作战行动，否则干扰是无意义的。上述美军最先进的隐

形战斗机 F-117A 被击落, 实际上就是因为其电子干扰机对南联盟的电磁干扰的空间有误而导致。通信干扰基于一定的作战任务和目标选择, 其时间和空间也因为作战任务和干扰目标而不同。

§ 4.3.1 通信干扰的时间选择

通信干扰的时间选择是一个非常重要的战术应用问题。干扰开始时间过早, 容易被敌军侦察机侦察到, 从而采取相应的措施进行反干扰或者袭击我军干扰机, 干扰时间过晚不利于配合我军作战, 无法做到火力突击与通信干扰的协调一致。因此, 在实施通信干扰的过程中应注意干扰的时间选择问题。定义通信干扰的时间压制因子为:

$$K_t = T(T_j, T_i, T_{ji})$$

其中 T_j 为接收机输入干扰信号时间, T_i 为接收机输入有用信号时间, T_{ji} 为接收机接收到其它噪声的时间与信号混合形成干扰的延迟时间。一般来说, 在满足时间压制的情况下, 需满足 $K_t = T(T_j, T_i, T_{ji}) \geq 1$ 。由此可见, 时间压制与干扰机、发射机和接收机的开关机时间相关, 而开关机的时间又与我军的作战行动息息相关^[27]。

总之, 通信干扰的时间选择应伴随我军的作战行动, 与火力突击协调一致, 即要保证自身的安全, 又要有效地提供干扰支援。

§ 4.3.2 通信干扰的空间选择

通信干扰的空间选择也是一个重要的战术问题。离敌军接收机太近容易被敌军侦察到, 并利用火力进行袭击, 太远则无法对我军的作战行动予以有效的通信干扰支援。定义通信干扰的空间压制因子为 K_s :

$$K_s = \frac{S_{jk}}{S_{ik}}$$

其中, S_{jk} 为接收机输入端干扰信号的作用空间, S_{ik} 为接收机输入端有用信号的作用空间,

一般来说在满足空间压制的情况下, 需满足 $K_s = \frac{S_{jk}}{S_{ik}} \geq 1$ 。由此可见, 通信干扰的空间压制

与干扰机、发射机的作用空间相关^[27]。

总之, 干扰空间的选择也要与作战行动相辅相成, 以合理配置干扰设备。

§ 4.4 协同通信对抗的动态调整

随着通信电子对抗兵器种类的剧增、通信技术和通信干扰技术的发展以及人们电子对抗意识的增强, 一体化的通信电子对抗将越来越激烈, 作战的技术性、系统性、合成性和一体化程度也越来越强。如在海湾战争中, 美军的预警指挥机协调战斗机、电子战飞机和攻击机的作战行动, EA-6B、ECH-130 等各种电子干扰飞机与其它电子干扰设备密切配合, 空中、地面各种电子干扰兵器实现了最优组合, 取得了较好的干扰效果。战争实践证明:

在电子对抗条件下,单一的通信电子对抗装备难以遂行作战任务,必须依靠各种干扰设备的优化组合。作战的合成性增强主要表现为:一是作战力量构成整体,实现各军兵种电子战力量的一体化;二是战场体系构成整体,实现陆、海、空和电磁战场的有机结合,整个战场的电子设备的布势构成统一的战场体系;三是各种作战形式综合、协调运用,多种干扰设备在不同时域、频域、地域、空域作战中谋求最佳作战效果。因此,在组织实施通信电子干扰时,必须进行以下的协调与控制。

一、整体的协调控制。只有实现了战役的一体化,发挥各种通信对抗作战力量的强大合力,才能立足于我军现有电子进攻装备质与量均处于劣势的情况,争取主要时域、地域和频域的主动。为进行整体协调控制,战役指挥员首先要根据电子进攻作战的发展情况,组织好战役目标的协调,通观全局,掌握重点,使战场上各参战部队的通信干扰设备合理分配与组合,协调一致地行动,做到一体化的电子对抗。其次是协调好电子进攻装备和飞机、坦克、进攻部队等的关系,使其互相配合、互相支援、互相补充。

二、对通信对抗装备和设备灵活机动的指挥控制是主动性、科学性在现代高技术局部战争中的具体表现。电子对抗渗透于现代战争的全过程和各个方面,随着电子技术在战场上的广泛应用,各种技术保障设备大大增加,在复杂的电磁环境中,各种通信设备、电子对抗设备之间可能会形成相互干扰。指挥员应在战场的多层次、多方向、多环节、多频段的组织协调中,集中指挥,使战场的各种电子对抗装备、“软、硬”对抗的武器装备整体融合,形成强大的电子对抗力量。

三、有效的电磁频谱管理。现代战争军事制高点的占领更多地依靠先进的电子装备,越来越依赖于电磁优势的获得,电磁环境成为第四维战场。由此带来的无线电频率使用相互冲突、电子系统间相互干扰,已成为影响现代战争结局的一个不容忽视的课题。电子技术就象一把双刃剑,在推动武器装备和指挥现代化的同时,也使战场电磁环境日益复杂。现代战争需要无线电管理、电磁频谱的管控。英阿马岛战争时,英军配有先进的雷达警戒系统的谢菲尔德号驱逐舰被阿军反舰导弹击沉。事后调查结果表明,谢菲尔德号驱逐舰在研制时忽视了舰载雷达警戒系统与卫星通信系统的兼容性,导致两个系统同时工作时相互干扰,无法及时发现来袭导弹而采取相应对策。现代战争使用的综合电子信息系统由多种武器装备、探测、侦察、通信、电子对抗等分系统组成,这些系统之间和系统内部的电磁环境十分复杂,必须合理地解决电磁兼容问题,才能使电子武器装备发挥最大效能。海湾战争中美军使用了多种先进的电子技术装备,使整个战场形成了极为复杂的电磁环境。战争刚开始,美军电磁兼容分析中心即提供了多国部队用于频率指配的数据库、海湾地区电磁环境资料和分析资料,成立多国部队频谱管理机构,实施及时有效的频谱管理和无线电管制,为多国部队制定作战计划、实施指挥控制和协同作战提供了可靠的保证,使无线电设备和武器系统的作用在复杂的电磁环境中得以有效地发挥^[44]。

随着电子技术在军事领域的广泛应用,军事电子装备的种类将更加繁多,无线电信号将更加密集,作战空间的电磁环境将更加复杂。能否掌握电磁频谱的控制权,科学有序地使用频率,使各种武器装备合理使用,形成一个统一的整体,将直接影响战争的胜负。因此,只有加强装备使用中的无线电管理,强化频率的有序使用,才能最大限度地避免电磁环境的恶化和电磁干扰的产生,提高总体作战能力^[38]。

综上所述,现代高技术局部战争电子对抗的战场上各要素之间的协调控制必须贯穿于战役、战斗的全过程,依靠整体的强大威力,扬己之长,击敌之短,夺取战役的胜利。

§ 4.5 小结

本章讨论了通信干扰的基本准则，对干扰的计算公式进行了一些改进，特别是在上一章通信干扰威胁排序的基础上，运用连续循环布尔操作法，实现了基于目标的干扰资源分配。简要论述了通信对抗的时间与空间选择问题，提出了协同通信对抗的动态调整思想。

第五章 一体化通信对抗辅助决策的仿真实现

为适应一体化通信对抗辅助决策仿真的需要，我们建立了相应的通信干扰模型，分析了干扰所需的功能模块，在此基础上建立了一体化通信干扰的框架，实现了面向任务的通信干扰方法和策略。

§ 5.1 一体化通信对抗的仿真模型

模型是对现实问题的抽象。一体化通信对抗所涉及到的模型主要可分为：实体模型、规则模型、交互模型、计算模型和环境模型^[14]。

● 实体模型

实体模型是对实际通信干扰装备和设备的抽象，包括各种通信体制的装备、设备，如各种机载和车载无线电台、一次性干扰机等，它们都可以归类为发射机、接收机和干扰机，都具有属性、方法和事件。其 UML 类图如图 5-1 所示。

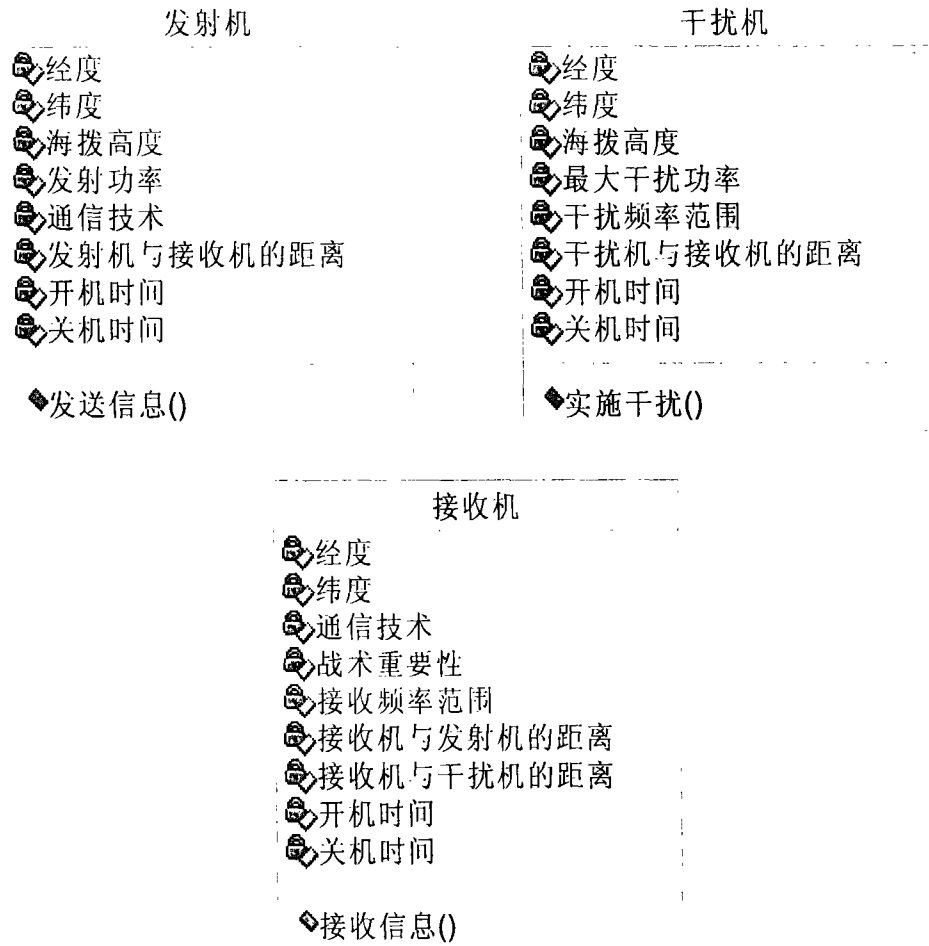


图 5-1 实体模型的 UML 类图

●规则模型

本文所涉及的规则模型主要是军事规则模型,是指导作战的规则和原则,如对跳频通信的跟踪式干扰必须是干扰设备的频率跳变速度远大于被干扰的设备,干扰机的频率范围必须大于等于接收机的频率范围等。军事规则模型一方面在运行时可以动态增加军事规则,也可以把运行时得到的实体模型的属性值或值与值的关系作为军事事实。

军事规则模型同时与其它的模型相关联,如实体模型之间的相互作用依赖于军事规则,军事规则模型决定着计算模型,而环境模型影响军事规则模型。

●交互模型

交互模型表示两个通信对抗实体之间的交互关系,如敌方预警机载的短波电台与我方相应的干扰设备的交互。交互模型要定义参加交互的所有实体的模型,以及参加交互的条件与约束。本模型实体之间的交互主要是干扰机、接收机和发射机之间的交互,交互的条件是干扰机能够对接收机进行有效的通信干扰。

●环境模型

本系统中的环境模型是指战场实时的电磁环境和自然的地形环境的综合,是对敌我双方通信装备与干扰装备所处复杂环境的模拟。它主要包括地形地貌、大气、气象、自然电磁干扰等模型。

各种各样的作战行动都在一定的自然环境中进行,而不同的自然环境也会对通信干扰装备的工作效率产生复杂的、重要的、关键的甚至是决定性的影响。电磁环境会在各种射频接收机中产生噪声,在一定程度上影响接收机的信噪比,降低其接收效率,通信干扰机则正是通过影响敌军接收机所处的电磁环境来达到干扰效果。由此可见,通信体系对抗的作战效果关键是研究敌我双方通信装备所处的电磁环境。

计算模型中的地形和地面传导率来源于环境模型,通过检测干扰机与接收机间的地形,可以确定计算模型中地面传导率的取值。

●计算模型

通信体系对抗的计算模型以其它模型为基础,根据军事规则模型,通过数值计算实现对数据的计算、分析和预测。计算模型是研究和掌握整个通信体系对抗系统运动规律的有力工具,是分析、设计、预测和控制实际系统的基础。如通信威胁排序的计算模型,通信干扰资源分配的计算模型等。

§ 5.2 一体化通信对抗的仿真功能模块

本仿真系统采用模块化结构,各功能模块通过仿真主控平台相连。本系统仿真平台的功能模块如图 5-2 所示^[33]。

①通信对抗仿真主控平台:主要提供仿真环境,将符合仿真要求的对象连接起来,并完成对象间的交互。功能包括:用户登录、管理仿真模块、对象类的操作、修改对象属性、数据的发送和接收等。

②战术想定:对敌军通信网络的拓扑结构,作战单元的部署,通信设备的相关参数等的想定。包括红方指挥员下达的具体作战任务。

③通信链路仿真模块:主要对上一步确定的敌军各作战单元间的通信信号传播链路进行仿真,模拟战场电磁环境,包括敌我双方通信或干扰信号传播链路之间的地面或地形传

导率等。

④威胁等级排序模块：面向作战任务，该模块主要运用层次分析法确定敌军重要通信

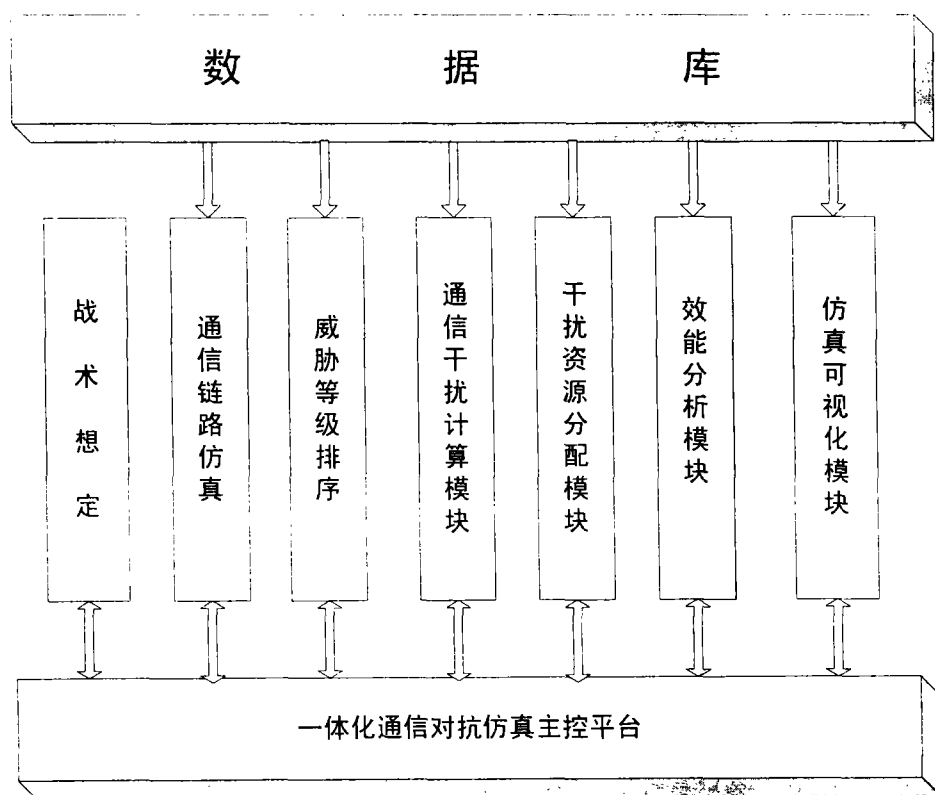


图 5-2 通信对抗仿真功能模块图

链路对我军执行作战任务的威胁等级，也可以人工确定威胁等级。

⑤通信干扰计算模块：根据敌我双方通信设备和干扰设备的参数指标，结合相应的算法，计算干扰效益，生成干扰效益矩阵。根据干扰功率和最远距离的计算公式计算我军每一部干扰设备是否能对敌军每一部通信接收机进行有效干扰，生成干扰结果矩阵。

⑥干扰资源分配模块：运用连续循环布尔分析法确定我军的通信干扰方案，采取的干扰方法和策略，干扰机的工作体制、具体性能、指标和参数设置等，也可以进行人工调整。

⑦效能分析模块：效能分析模块是本系统实现仿真功能的一个重要模块。它根据特定的战场自然环境、电磁环境以及敌军通信设备和我军干扰设备的指标数据库，结合通信干扰模块所产生的我军采取的干扰措施，利用通信干扰效能分析模型分析我军对敌军通信的干扰效果，并以此指导我军应采取的干扰方法和策略。

⑧仿真可视化模块将效能分析模块所得出的干扰结果数据形象逼真地反映出来。

⑨数据库模块主要包括地形数据库、敌我双方通信设备性能指标数据库、干扰设备性能指标数据库等。可以对数据进行添加、修改和删除等操作，数据记录也可以动态查询。

各主要功能模块间的交互关系如图 5-3 所示。

由战术想定模块根据战场的全局通信态势和我军执行的作战任务，分析可能对我军构成威胁的敌军作战单元，对它们之间的通信网络拓扑结构进行想定，并根据作战规则或者指挥员的作战命令选择欲进行通信干扰的敌军重要通信链路，通信链路仿真模块则对这些重要通信链路进行仿真，结合通信侦察提供的信息，给出各通信链路的战术重要性、采用的通信技术、发射功率和相对距离等参数。威胁等级排序模块则根据这些参数，计算敌军

重要通信链路的威胁排序，由通信干扰计算模块计算干扰所需的功率、距离等参数并得出干扰结果矩阵，干扰资源分配模块进行干扰资源的分配，实施通信干扰反作用于通信链路仿真模块。通信链路仿真模块和干扰资源分配模块的信息传输到效能分析模块，对干扰效果进行分析，将信息反馈回干扰资源分配模块，以进行干扰资源的协调与控制。

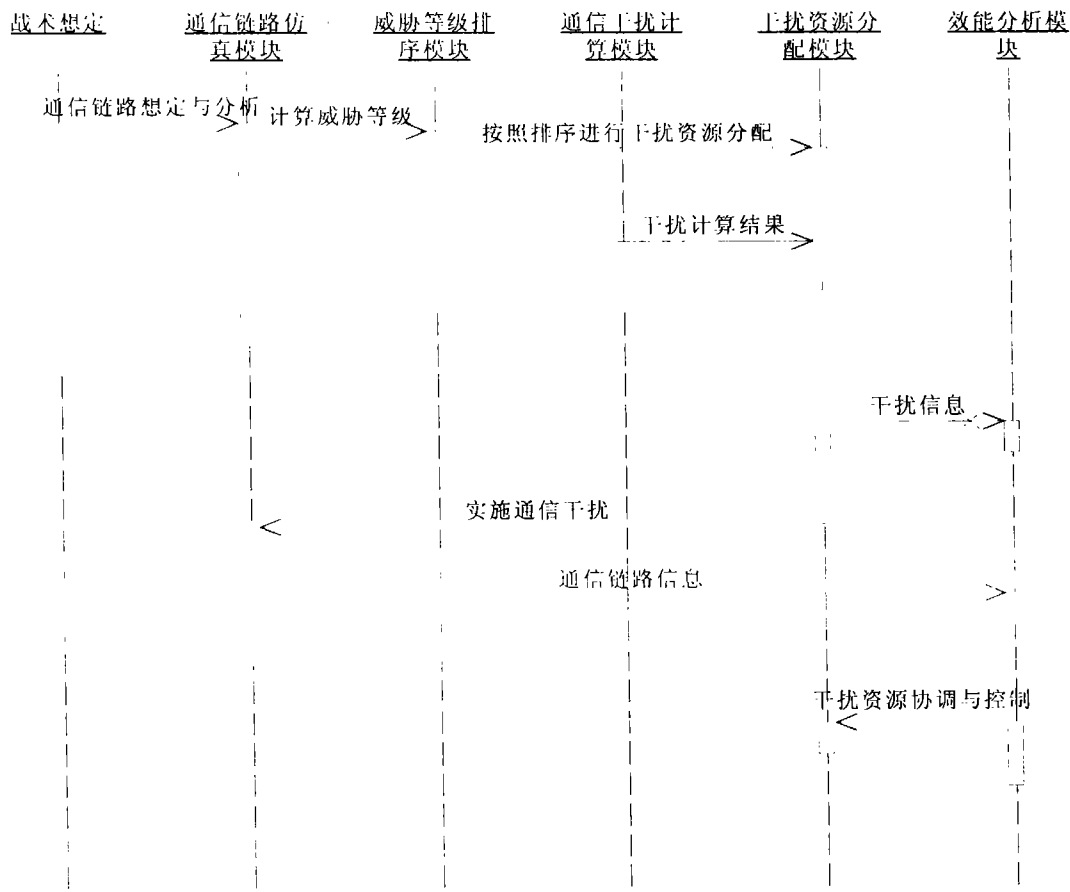


图 5-3 一体化通信对抗的交互关系图

§ 5.3 一体化通信对抗的框架

以我军对敌军通信设备的干扰仿真为例，其对抗仿真的总体框架如图 5-4 所示^[33]。

首先进行战术想定并由指挥员下达作战任务，包括敌军通信设备的部署情况、相关的性能、参数指标、战场的地形、地貌、电磁环境、气候、我军可用的通信干扰设备的性能、参数指标等，根据以上战场态势和作战任务，结合军事规则，对可能对我军的作战行动构成威胁的敌军相关的作战单元进行威胁等级分析。对于这些武器系统之间的众多通信链路，根据军事规则选取其中对敌我双方都至关重要的通信链路，由通信链路仿真模块生成这些重要通信链路对我军作战行动的威胁排序，利用通信干扰模块根据以上提供的干扰计算方法确定进行干扰的设备，选取相应的干扰方法和策略，并对干扰效果进行仿真，如果达到预期的干扰效果，则将仿真结果进行可视化输出，如果对干扰效果不满意，则可以重新回到威胁等级分析部分进行相关步骤的人工调整，重复以上步骤。

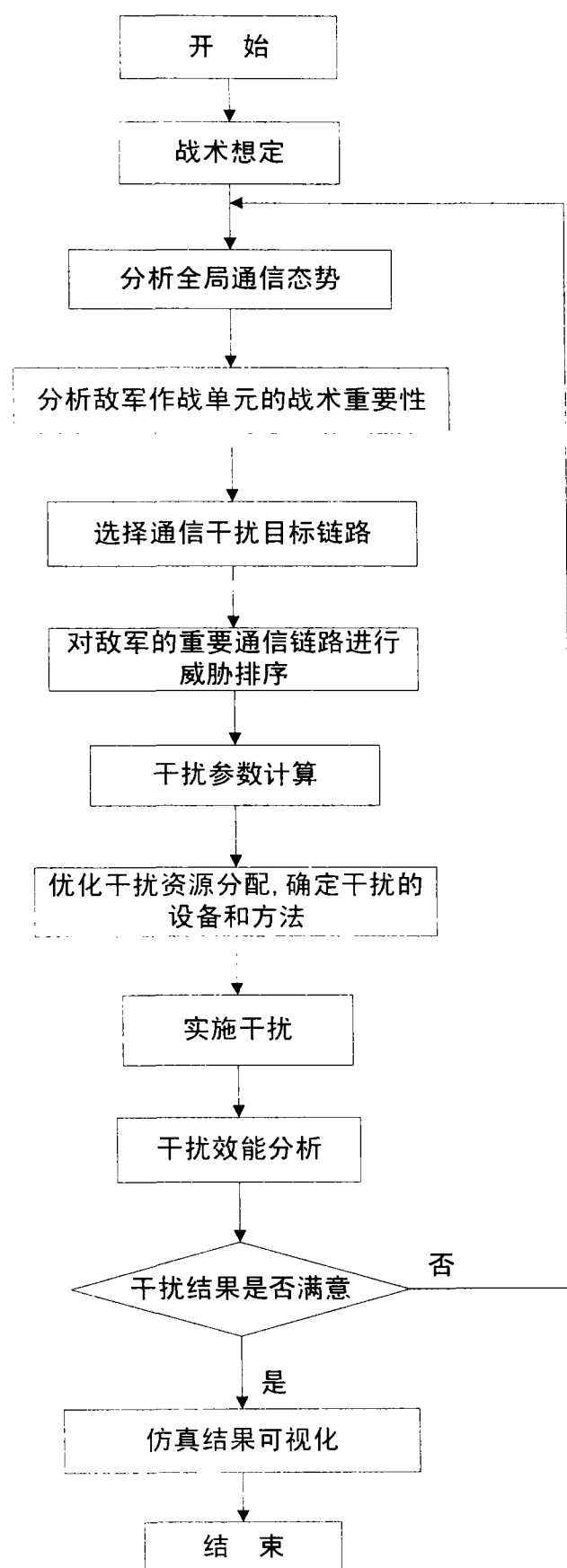


图 5-4 一体化通信对抗框架图

第六章 结束语

在大量查阅资料和借鉴前人研究成果的基础上,本文对通信对抗的研究做了一些工作,但因为时间和条件等方面的问题,也存在着一些不足。本文的主要工作与创新点以及下一步需要开展的研究主要有以下几个方面。

§ 6.1 主要工作与创新点

本文的主要工作与创新点在于以下几点:

①提出了包括通信威胁评估、干扰资源分配和协调控制等方面的一体化通信对抗的体制和方法。

②建立了由战术重要性、通信技术、功率和相对距离等组成的通信威胁评估的指标体系,既体现了目标的战术价值和指挥员的作战经验,又充分考虑了通信干扰的功率压制等技术指标。

③提出了面向任务的通信威胁评估方法,在分析判断全局通信态势的基础上,通过对敌军作战单元的威胁排序进行干扰目标通信链路的选择,并运用层次分析法进行威胁指数的计算,最终实现了通信链路的威胁排序。

④提出了通信对抗资源分配方法,运用连续循环布尔操作法,实现了以威胁排序为基础的干扰资源的优化配置。

⑤提出了协同通信对抗的思想,从整体的协调控制、对通信装备的指挥控制以及有效的电磁频谱管理等方面进行了论述。

⑥建立了一体化通信对抗辅助决策的模型体系、功能模块,提出了通信对抗的框架,为今后进行通信对抗的建模奠定了基础。

§ 6.2 进一步的工作

由于时间和条件的限制,本文存在着一些问题和不足,下一步可以充实和发展:

①加强通信对抗模型的研究。

通信干扰的计算应该考虑的因素很多,如功率、距离、地形、气象、传输信道衰减、各种环境干扰、天线增益和方向性等等,而本文的通信干扰计算模型,基于一定的假设条件,对于气象、传输信道衰减、各种环境干扰和天线的类型等未加以考虑。

②考虑更加接近于实战的通信对抗因素。

在传统的功率压制的基础上,时间与空间也是通信对抗要考虑的主要因素,本文仅对时间和空间因素进行简要的论述,没有进行详细具体的分析与研究。

③增加对通信干扰效果评估的研究。

通信对抗的干扰效果评估是对抗研究的一项主要内容,主要通过我军通信干扰实施前后敌军的整体作战能力,通信保障能力的比较体现出来,它直接影响干扰资源的选择与整体的协调控制,是下一步研究的重点。

④加强对通信干扰效益的研究。

通信干扰的效益与干扰效果有关，对敌军通信设备的干扰效果越好，则干扰效益越高。它还与我军所使用的干扰设备有关，包括干扰设备的位置、安全性、参数指标、对我军作战行动的影响等，干扰效益直接影响干扰资源的分配与优化。

致 谢

首先,我要感谢我的导师戴长华副教授,他的严格教诲和悉心指导,使我的课题研究受益匪浅。他渊博的学识、严谨的治学态度、精深的洞察力,成为我终生学习的楷模,鼓励我不断进取,勇攀高峰。

感谢刘忠主任的悉心指导,他不仅在百忙中抽出时间,在学习研究上尽心指导我,还在日常工作中以身作则,在对待工作、学习和科学研究的态度方面,在为人处事、待人接物等各方面都使我受益匪浅。特别是他在论文的撰写上给予我的意见和指导使我能够顺利完成这篇论文。

感谢黄金才老师以及实验室的博士们,肖雪松、阳冬升、彭晓宏、蔡益朝、张送保、张英朝、朱承等,他们扎实的技术和理论功底给我留下了深刻的印象。是他们在工作实践中细心地指导我,帮助我才使我得以顺利完成各项课题实践工作。

感谢罗旭辉、戈义君和鲁音隆等师弟师妹们,与他(她)们在一起战斗过的岁月,我将终身难忘。感谢他们对我学习和工作的支持与帮助,与他们相处是那么的愉快。

感谢寇力、赵新爽、母晓锋、陈晓东、赵阳、冯明月、王江锋等小师弟们,他们给我的学习和科研以很大的支持。

感谢教研室的易先清、袁卫卫等老师和领导,他们为我的学习科研提供了良好的环境和氛围,使我能专注于学习研究。

感谢我的父母,他们培养了我,造就了我,并永远支持我,使我勇于面对各种困难而不退缩。

感谢我的妻子孙艳娟,她用柔弱的双肩挑起家庭的重担,使我无后顾之忧,专心于学习和研究工作。感谢我的女儿王可心,她灿烂的笑容给了我无比的欣慰。

最后,感谢所有关心和帮助过我的人们!

参考文献表

- [1] Gershanoff,H.,“Information Assurance:How Do We Win the War to Protect Information?”The Journal of Electronic Defense,March 2001.
- [2] Adamy,D.,EW 101:A first Course in Electronic Warfare,Norwood, MA:Artech House,2001.
- [3] Schleher,D.C.,Electronic Warfare in the Information Age,Norwood, MA:Artech House,1999.
- [4] U.S.Army Field Manual FM 100-6,Information Operation,August 27.1996.
- [5] Headquarters Department of the Army, Intelligence and Electronic Warfare Operations, FM 34-1,Washington,DC,27 September 1994.
- [6] Simon M.K.,et al.,Spread Spectrum Communications Handbook,New York:McGraw-Hill,1994.
- [7] Monsinski,J.D.,“Electronic Countermeasures,”Proceedings of IEEE MILCOM Conference,1992.
- [8] Parsons,D.,The Mobile Radio Propagation Channel,Nem York:John Wiley & Sons,1992.
- [9] Headquarters Department of the Army, US Army Communications Jamming FM 34-40-7, Washington,DC, 23 November 1992.
- [10]Kwon,H.M.,L.E.Miller,and J.S.Lee,“Evaluation of a Partial-band Jammer with Gaussian-Shaped Spectrum Against FH/MFSK,”IEEE Transactions on Communications,Vol.38,No.7,July 1990.
- [11]Torrieri,D.J.,“Fundamental Limitations on Repeater Jamming of Frequency-Hopping Communication,” IEEE Journal on Selected Areas of Communication. Vol.SAC-7,No.569,May 1989.
- [12][美]Paul G.Fahlstrom Thomas J.Gleason, 无人机系统导论, 吴汉平等译, 电子工业出版社, 2004 年 6 月。
- [13][俄]Sergei A.Vakin, [俄]Lev N.Shustov, [美]Robert H.Dunwell 等著, 吴汉平等译, 电子战基本原理, 电子工业出版社, 2004 年 5 月。
- [14]David L. Adamy 著, 吴汉平等译, 电子战建模与仿真导论, 电子工业出版社, 2004 年 4 月。
- [15][美]Edward Waltz 著, 信息战原理与实战, 吴汉平等译, 电子工业出版社, 2004 年 1 月。
- [16]李耐国等, 信息战新论, 军事科学出版社, 2004 年 1 月。
- [17]Richard A. Poisel 著, 吴汉平等译, 通信电子战系统导论, 电子工业出版社, 2003 年 3 月。
- [18]侯印鸣等编, 综合电子战-现代战争的杀手锏, 国防工业出版社, 2001 年 2 月。
- [19]任振杰等, 通信技术与指挥自动化, 军事谊文出版社, 2001 年 1 月。
- [20]李锐, 电子战技术装备发展展望, 电子工业出版社, 2001 年。
- [21]崔衍松、韦世党、张明主编, 联合防空信息作战, 军事谊文出版社, 1999 年 11 月。
- [22]王智远, 崔衍松, 梅华峰, 侯新予等编, 联合信息作战, 军事谊文出版社, 1999 年 11 月。
- [23]总参通信部, 信息作战技术学, 解放军出版社, 1998 年 7 月。
- [24]姜启源编, 数学模型, 高等教育出版社, 1998 年 3 月。
- [25]邓乃友等编, 航空兵作战运筹教程, 空军指挥学院, 1995 年 9 月。

- [26] 蒋庆全等, 军事电子信息系统建模与仿真技术 <http://seventeen.myl63.com>。
- [27] 潘志丽、张宏科、张思东, 现代电子干扰理论与效能评估的研究, 通信学报, 2003 年 11 月。
- [28] 孙德海, 国外电子战发展综述及对我国电子战研究的思考, 舰船电子对抗, 2003. 26, 第 26 卷第 1 期。
- [29] 朱秀丽等, 电子战武器装备现状及技术发展, 情报指挥控制系统与仿真技术, 2003 年第 4 期。
- [30] 程颖编译, 电子战威胁, 情报指挥控制系统与仿真技术, 2003 年第 2 期。
- [31] 晓桐, 电子战中的关键技术与作战形式, 军民两用技术与产品, 2002 年 8 月。
- [32] 黄贤锋等, 雷达干扰智能决策资源分配的一种快速算法, 航天电子对抗, 2002 (6)。
- [33] 余晓刚、张玉冰、姚富强, 基于 HLA 的通信电子战仿真平台设计, 电子对抗技术, 2002 年第 16 卷第 1 期。
- [34] 孙柏林、靳大安, 外军建模与仿真综述, 计算机仿真, 第 19 卷第一期, 2002 年 1 月。
- [35] 安红、邓扬建、吕连元等, 综合电子战作战效能仿真系统研究, 计算机仿真, 2002 年 1 月, 第 19 卷第一期。
- [36] 刘永红, 电子对抗系统作战效能模型及其应用, 电子对抗技术, 2002 年第 17 卷第 5 期。
- [37] 尹烁莹, 现代战争中电子战装备及作战特点, 火力与指挥控制, 2001 年 12 月, 第 26 卷, 第 4 期。
- [38] 张辉耀, 无线扩频通信技术与干扰问题, 中国无线电管理, 2001 年 3 月第三期。
- [39] 黄继谦, 电子战武器装备发展现状, 摘自数字化期刊电子世界, 2003 年 11 月。
- [40] 美国军事, The U.S Military, 电子干扰设备, 2004 年 5 月。
- [41] 国际先驱导报, 台军大力发展电子战反制大陆“北斗”导航卫星, 2004 年 1 月 9 日, <http://www.people.com.cn>。
- [42] 美国军事, The U.S Military, 催眠雷达破坏通信 美空军电子战法揭密, 2003 年 11 月。
- [43] 通信抗干扰技术, 移动通信国家工程研究中心, <http://www.mc21st.com>, 2003 年 11 月。
- [44] 现代战争呼唤电磁频谱管控, 移动通信国家工程研究中心 <http://www.mc21st.com>, 2003 年 11 月。
- [45] 美军电子战概况, 2003 年 11 月, <http://seventeen.myl63.com>。
- [46] 美台绝密计划披露 备战中国台海决战, <http://www.c007.com>, 2003 年 2 月。
- [47] 孙立华, 透视台军预警系统及信息战能力, <http://www.hxjs.com>, 2002 年 7 月。
- [48] 美为提升台军电子战能力寻找借口, <http://www.huaxia.com>, 2002 年 5 月。

附录：作者在硕士学习阶段发表的论文

1. 王丰双、刘忠、戴长华，一体化射频通信体系对抗的仿真系统设计，《火力与指挥控制》，已录用，2004 年 9 月。