

# Radar Jammer Power Management and Efficiency Improvement Technology

Zehui Hu Lin Cheng Xiujin Wang

723 Research Institute of China Shipbuilding Corporation, Yangzhou, Jiangsu, 225100, China

## Abstract

As the key equipment of modern electronic warfare, radar jammers power management and efficiency improvement technology directly affects the efficiency of electronic countermeasures. This paper studies the power management and efficiency improvement technology of radar jammer, and focuses on the power control technology, intelligent power distribution algorithm and adaptive power regulation technology. By optimizing the generation and transmission of interference signals, the effective utilization rate of energy and spectrum efficiency are improved, and the overall performance of radar jammers is significantly improved. Combined with the experimental analysis, the effectiveness of the proposed power management and efficiency improvement technology is verified, which provides the theoretical basis and practical guidance for the performance optimization of radar jammers.

## Keywords

radar jammers; power management; efficiency improvement; signal processing; intelligent algorithm

# 雷达干扰机功率管理与效率提升技术

胡泽辉 程林 王秀锦

中国船舶集团有限公司第七二三研究所, 中国·江苏·扬州 225100

## 摘要

雷达干扰机作为现代电子战的关键装备, 功率管理与效率提升技术直接影响着电子对抗的效能。论文研究了雷达干扰机的功率管理与效率提升技术, 重点分析了功率控制技术、智能功率分配算法和自适应功率调节技术。通过优化干扰信号的生成与传输, 提高能量的有效利用率和频谱效率, 显著提升雷达干扰机的整体性能。并结合实验分析, 验证了所提出的功率管理与效率提升技术的有效性, 为雷达干扰机的性能优化提供了理论依据和实践指导。

## 关键词

雷达干扰机; 功率管理; 效率提升; 信号处理; 智能算法

## 1 引言

在现代战争中, 电子战的地位日益凸显, 雷达干扰机通过发射特定的电磁信号来迷惑敌方雷达, 使其无法准确探测和跟踪目标, 从而保障己方平台的安全。然而, 随着雷达技术的不断进步, 雷达干扰机面临着更为严峻的挑战, 尤其是在功率管理和效率提升方面。传统的功率管理方法往往难以满足现代战场的需求, 如功率浪费、能量转换效率低下等问题, 限制了雷达干扰机的作战效能。论文旨在通过对雷达干扰机功率管理技术的深入剖析, 以期为雷达干扰机的性能优化提供科学依据和技术支撑。

## 2 雷达干扰机的功率管理原理

### 2.1 雷达干扰机的基本结构与工作原理

雷达干扰机是一种复杂的电子战系统, 雷达干扰机的

核心功能在于通过发射特定的干扰信号, 扰乱或欺骗敌方雷达系统, 从而保护己方的飞行器或舰船免遭探测和攻击。雷达干扰机的基本结构包含发射天线、干扰发射机、干扰信号产生器以及一系列控制设备, 如功率控制、波形控制、天线波束控制和干扰控制设备, 如图 1 所示。接收天线捕捉敌方雷达的信号, 侦察接收机对其进行解码和分析, 确定敌方雷达的频率、脉冲重复频率等关键参数, 这些参数将被引导给雷达干扰机。方向引导和引导控制设备利用这些信息, 通过天线波束控制装置精确指向敌方雷达, 同时, 频率引导系统同步调整干扰信号的频率。干扰信号产生器根据接收机分析的结果, 生成与敌方雷达信号相匹配的干扰信号, 再由干扰发射机放大后, 通过发射天线发送出去<sup>[1]</sup>。

### 2.2 功率管理的基本概念

功率管理是雷达干扰机的核心能力, 旨在优化干扰信号的发射功率, 确保在有限的能源条件下实现最佳干扰效果。基于对敌方雷达信号特性的实时分析, 动态调整干扰机的功率输出, 以适应不同威胁环境。功率管理算法评估雷达

【作者简介】胡泽辉(1990-), 男, 中国江西抚州人, 硕士, 工程师, 从事雷达有源干扰研究。

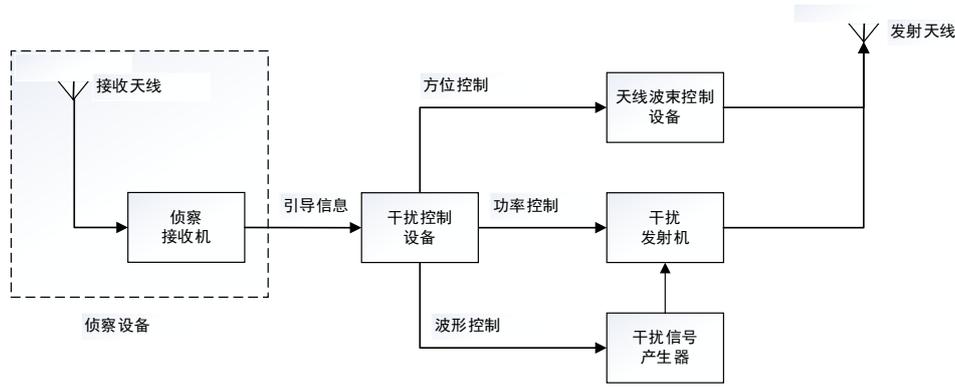


图1 雷达干扰机的基本结构

信号强度、频率、脉冲重复频率等因素，结合己方平台的运动状态和电磁环境，智能分配可用功率，既能保证对关键目标的有效干扰，又避免了功率浪费，减少了对友军系统的干扰。

### 2.3 功率管理的主要技术指标

雷达干扰机的功率管理技术指标主要围绕着功率分配效率、动态范围、频率覆盖能力和功率稳定性展开。高效的功率分配确保在有限的能源下，根据实时威胁评估，将功率精准地分配给最需要干扰的雷达频率。动态范围指的是干扰机有效工作的功率变化范围，从微弱信号到高强度信号的适应性，是衡量干扰机灵活性和鲁棒性的关键。频率覆盖能力决定了干扰机能够干扰的雷达频段宽度，越宽的频段覆盖意味着更强的干扰能力。功率稳定性则保证了在长时间工作或复杂电磁环境下，功率输出的持续性和一致性，是干扰机可靠性的体现。

## 3 雷达干扰机功率管理技术

### 3.1 功率控制技术

功率控制技术是雷达干扰机功率管理的核心，主要目标是在满足干扰效能的同时，优化功率使用，避免资源浪费。功率控制技术涉及自适应功率控制算法的应用，算法能够根据敌方雷达信号的强度、频率特征以及己方干扰目标的优先级，动态调整干扰机的功率输出。例如，当检测到高威胁雷达信号时，算法会计算所需的最小干扰功率  $P_{\min}$  来确保有效干扰，同时考虑到己方平台的能源限制和热管理需求，通过公式：

$$P_{out} = \min(P_{max}, \max(P_{min}, P_{target}))$$

其中， $P_{out}$  为实际输出的干扰功率； $P_{max}$  为干扰机的最大功率限制； $P_{target}$  为根据干扰目标设定的理想功率，确保了功率输出既不会超出干扰机的能力，也不会低于实现干扰所需的最低阈值，从而实现功率的精细化控制，提升系统整体的效能和持久作战能力<sup>[2]</sup>。

### 3.2 智能功率分配算法

智能功率分配算法是雷达干扰机功率管理的关键技术，

它基于实时侦测到的威胁信号强度和频率特性，动态调整发射功率，确保在有限的能源下实现最优干扰效果。算法通过评估敌方雷达信号的威胁级别，结合己方的能源状况，智能决策功率分配<sup>[3]</sup>。例如，采用基于威胁权重的功率分配策略，其中， $P_i$  为分配给第  $i$  个威胁的功率； $W_i$  为该威胁的权重系数，表示其相对危险程度； $P_{total}$  为干扰机总的可用功率，具体公式如下：

$$P_i = \frac{W_i}{\sum W_j} \cdot P_{total}$$

## 4 雷达干扰机效率提升技术

### 4.1 干扰信号生成与优化

雷达干扰器产生干扰信号的过程需要精确的数学模型和先进的信号处理算法，以确保生成的信号能够有效地覆盖目标雷达的频谱范围。干扰机可以通过详细分析敌方雷达信号的特性，产生类似或更高复杂程度的干扰信号，包括频率、带宽、调制方式等，从而达到有效干扰目标雷达信号的目的。干扰信号的时频特性和功率分布需要在干扰信号生成过程中加以考虑，以优化干扰效果。如自适应调频技术的采用，可对干扰信号在不同作战环境下的频率进行动态调整，使其产生对敌方雷达接收器干扰作用最大的效果。干扰信号的优化还包括精细调控信号的幅度、相位等。对干扰信号的频谱进行精确控制，通过应用快速傅里叶变换（FFT）、反快速傅里叶变换（IFFT）等先进的数字信号处理技术，实现对频谱的最佳覆盖<sup>[4]</sup>。

### 4.2 频谱效率提升方法

在雷达干扰器效率提升技术中，频谱效率提升需要采用自适应频谱分配技术，动态调整干扰信号的频率分布，通过对频谱使用情况和目标雷达信号的频谱特征进行实时监测，从而避免干扰信号与友方通信或其他无关信号之间的冲突。采用多载波干扰技术，在增加目标雷达接收干扰难度的同时，将干扰信号分割成多个子载波，在宽频带上均匀分布，从而提高频谱利用率。频谱感知和动态频谱接入方法基于认知无线电技术，能够对频谱空洞进行实时检测，并将干扰信号注入这些空洞中，使可用频谱资源得到最大程度的利用<sup>[5]</sup>。

## 5 仿真实验分析

### 5.1 实验目标

为了验证和评估雷达干扰机效率提升技术的实际效能,通过一系列精心设计的实验,量化干扰信号生成与优化技术对雷达探测性能的影响程度,包括干扰信号的识别率、干扰效果的持久性以及对于雷达跟踪精度的削弱能力。实验中,将对比传统干扰方法与新型技术方案的差异,特别是在复杂电磁环境下,新方案是否能显著提高干扰成功率和降低被反干扰的风险。实验还将深入探究技术参数对于干扰效果的敏感性,如信号强度、频率选择和调制方式的变化如何影响最终的干扰表现。

### 5.2 实验方法

在实验设计阶段,构建了一个高度仿真的电磁环境测试平台,该平台集成了多种类型的真实雷达系统和先进的信号模拟器,以确保实验条件与实战场景的高度一致。实验方法分为三个核心部分:①基准测试,在引入任何干扰技术前,测量雷达系统的原生性能,包括探测距离、角度分辨力和抗干扰能力,以此作为对照组数据。②传统干扰方法与新型技术方案对比,在相同的电磁环境下,分别应用传统干扰手段和新型技术,记录并比较两种情况下雷达性能的退化情况,尤其是识别率、持续干扰时间和跟踪误差等关键指标。为了确保结果的可靠性,每种方法均进行多次重复实验,并对数据进行统计分析。③参数敏感性分析,针对新型技术,进一步探索了不同信号强度、频率范围和调制模式对于干扰效果的影响。通过调整这些参数,观察其对干扰成功率和系统稳定性的作用,从而确定最佳配置点。

### 5.3 实验结果分析

经过实验后,发现新型技术在提升雷达干扰效能方面展现出明显优势,具体如图2和表1所示。相较于传统干扰手段导致雷达探测距离、角度分辨力、抗干扰能力、识别率、持续干扰时间和跟踪误差的大幅度恶化,新型技术仅引起较小幅度的性能退化,尤其是在信号强度、频率和调制模式的优化配置下,这种优势更为突出。例如,在最佳频率设置下,新型技术使雷达探测距离仅减少了8%,而传统干扰则使其减少了25%。同样地,新型技术在其他指标上的影响也远小于传统方法,表明在提高干扰效率的同时,能更好地保持雷达系统的稳定性和准确性。

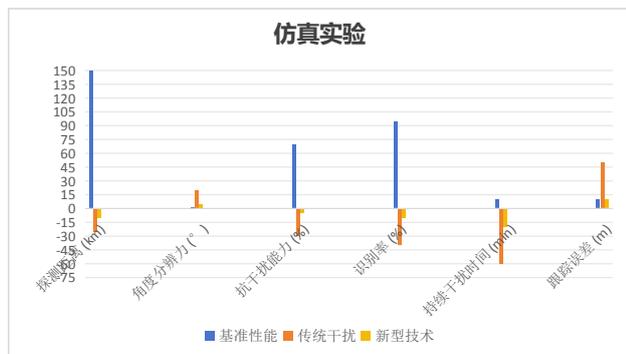


图2 雷达干扰机仿真实验

表1 实验结果

实验条件	基准性能	传统干扰	新型技术	参数敏感性分析
探测距离 (km)	150	-25%	-10%	弱信号: -15% 强信号: -5% 最佳频率: -8% 调制模式 A: -12% 调制模式 B: -6%
角度分辨力 (°)	0.5	+20%	+5%	弱信号: +15% 强信号: +3% 最佳频率: +7% 调制模式 A: +10% 调制模式 B: +4%
抗干扰能力 (%)	70	-30	-5	弱信号: -20% 强信号: -10% 最佳频率: -12% 调制模式 A: -15% 调制模式 B: -7%
识别率 (%)	95	-40	-10	弱信号: -30% 强信号: -15% 最佳频率: -18% 调制模式 A: -25% 调制模式 B: -12%
持续干扰时间 (min)	10	-60%	-20%	弱信号: -50% 强信号: -30% 最佳频率: -35% 调制模式 A: -45% 调制模式 B: -25%
跟踪误差 (m)	10	+50%	+10%	弱信号: +40% 强信号: +20% 最佳频率: +25% 调制模式 A: +35% 调制模式 B: +15%

## 6 结语

在雷达干扰机的功率管理与效率提升技术中,功率控制技术、智能功率分配算法和自适应功率调节技术,这些创新方案能够实现对干扰机功率的精细化管理,确保在满足干扰效能的同时,避免能量浪费,提高整体系统的工作效率。未来,随着材料科学、人工智能等领域的不断进步,雷达干扰机的功率管理与效率提升技术将有望实现更深层次的优化,进一步提升电子战平台的综合性能,为军事行动带来更大的战略优势。

### 参考文献

- [1] 张宇祥,黄明,杨杰,等.应用于雷达干扰机的单比特测频算法研究和优化[J].工业技术创新,2023,10(2):99-105.
- [2] 孙俊,张大琳,易伟.多机协同干扰组网雷达的资源调度方法[J].雷达科学与技术,2022,20(3):237-244+254.
- [3] 唐陈,王峰.基于卷积神经网络的雷达干扰识别技术研究[J].中国电子科学研究院学报,2022,17(1):63-70.
- [4] 姜阳,余巍,罗江.雷达干扰装备和防空雷达的频率与距离偏移量分析[J].现代商贸工业,2021,42(32):166-168.
- [5] 林石,陆春龙,李泓.雷达协同干扰策略及干扰措施探析[J].无线互联科技,2021,18(11):10-11.