

基于飞航式雷达诱饵无人机的目标特性设计研究

张爽 王晶晶 王琪玥 李宇飞 杨惠成

西安爱生技术集团有限公司 陕西 西安 710061

【摘要】：根据当飞航式雷达诱饵无人机所面临的战场环境、敌我态势及我战略意图选择使用诱饵欺骗战术，本文主要以运动特性、散射特性、频谱特性和极化特性等无人机目标特性分析设计，通过电磁仿真计算评估模拟精度，构建有诱饵机目标特性的研究方法，提升诱饵无人机对敌方雷达的诱饵欺骗迷惑能力。

【关键词】：诱饵无人机；电磁计算；模拟精度

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.079

1 引言

诱饵无人机作为阻塞敌防空火控系统的火力通道和诱骗消耗敌防空弹药的重要战术与有效手段，按照干扰产生的方法，分为有源诱饵和无源诱饵，按时使用方式分为，拖拽式、投掷式和飞航式；拖拽式雷达诱饵有舰载和机载两种；投掷式雷达是一种一次性使用的雷达诱饵，如泊条弹、干扰弹和小型干扰机；飞航式雷达诱饵是一种小型无人驾驶飞行器，机上装有干扰设备，能模拟各种攻击类飞机的雷达回波特性、飞行航迹特征和常定战术编队，发射后利用自身的飞行动力遵循预定程序飞行，其本质是具备欺骗干扰敌方雷达能力的诱饵式施放无人机。

2 目标特性分析

飞航式雷达诱饵无人机以迷惑欺骗以电磁散射目标特性设计点为技术基础，以构型变化策略为技术抓手，逼真假目标需要考虑四个方面的目标特性分析研究开展无人机目标特性设计：1.目标的运动特性、2.目标的散射特性、3.目标频谱特性、4.目标的极化特性。

2.1 运动特性分析

在对地诱饵式欺骗攻击时，诱饵无人机的运动特性包括攻击空域内的典型高度、速度。诱饵无人机高度特性影响敌防空雷达目标探测时主瓣波束朝向内的地杂波抑制能力，从而影响敌防空雷达的目标检出能力和稳定跟踪能力。诱饵无人机速度特性影响敌防空雷达的波束内多普勒速度探测范围，从而影响敌防空雷达的目标检出能力和稳定跟踪能力。诱饵无人机编队特性影响敌防空雷达体系的目标聚类判定，从而影响敌防空雷达的目标识别能力和作战响应判定。

2.2 电磁散射特性分析

在对地攻击诱饵式迷惑欺骗时，只有通过分析雷达获取目

标信息种类的精度，在时域、频域、空间域、能量域、极化域多个维度精确特性控制才能实现将目标欺骗干扰，诱饵机在各个维度的目标电磁散射特性直接影响敌防空雷达探测的工作效能，雷达探测距离 R ，参照雷达方程，

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_r L}}$$

其中，在敌雷达防空系统参数一定，无线电传播环境不可干预的情况下，目标雷达散射截面 σ (Radar Cross Section, RCS) 是诱饵机对抗敌雷达探测作用距离的最核心参数：

$$\sigma = 4\pi \frac{P_r}{P_t}$$

2.3 频谱特性分析：

诱饵机与敌防空雷达体系在对抗过程中，一个完备的防空体系是微波的全波段、全极化，诱饵机要面临搜索、跟踪、火控等不同雷达体制的全频段体现出不同的散射特性，以往常用雷达一般频段一般从 L 频段开始，涉及 L、S、C、X、Ku、Ka 等光学区波段，随着隐身技术的发展，P 波段远程预警反隐身雷达技术也渐渐投入型号应用，诱饵机和被模仿对象需要在光学区波段、谐振区波段的频谱变化规律接近，误差约 5dB。

2.4 极化特性分析。

极化特性和频谱特性类似，都是诱饵机对抗敌防空雷达体系的典型特性，一个完备的防空体系肯定是微波波段的全极化，诱饵机要面临敌雷达体系的极化特性检测，诱饵机和模仿对象需要在极化域变化规律接近，不能因为敌防空雷达的极化交叉而特性突变。

3 仿真结果

飞航式诱饵无人机指标设计是根据诱饵式的目标特性分析和对比,从运动特性、散射特性、频谱特性、极化特性等维度,实现诱饵无人机的高度逼真,从而完成诱饵欺骗的作战使命,本文以彩虹-4典型目标为例,开展基于目标特性的诱饵无人机指标设计,设计结果如下:

3.1 诱饵机的运动特性

在压制敌防空任务中,诱饵无人机以彩虹-4的高度和速度飞行,根据高度特性和速度特性的重叠覆盖区间比率分析,诱饵无人机可以在运动特性上实现迷惑,如下表1所示:

表1 诱饵机飞行剖面模拟

| | 诱饵机 | 模拟机 | | 巡航段重叠 |
|----|-------------|-------------|--------------|-------|
| 速度 | 110~210km/h | 160~230km/h | 巡航速度 200km/h | 满足 |
| 升限 | 5000m | 7000m | 巡航高度 5000m | 满足 |

通过对任务信息和状态的分析,诱饵无人机是在飞行过程中作出高效精准反应,根据诱饵机任务阶段运动特性的参数设置,加装被模拟的航线规划,规划调整无人机飞行速度高度,模拟典型目标的飞行品质特征、编队机动特性。

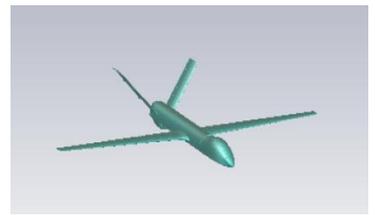
3.2 诱饵机的散射特性

在压制敌防空任务中,诱饵机首先从运动特性满足模拟的基本要求,根据诱饵机 RCS 分析,结合对抗雷达的特征,确定被模仿机的诱饵实现方案。

(1) 通过编队成员的队内速度一致性来阻碍敌防空雷达的多普勒速度检测,通过编队成员的横向间距控制来阻碍敌防空雷达的主瓣波束的方位检测,迷惑方位维分辨率,队内斜距机间距离在距离维、方位维投影距离小于分辨率,可以迷惑雷达角分辨率。以编队策略来实现各个散射中心的耦合效应,通过散射中心理论重构被模拟飞机的散射特性,RCS 模仿的误差精度足够高,可以干扰雷达检测概率,利用高逼真度的 RCS 迷惑欺骗敌防空雷达利用高逼真度的 RCS 迷惑敌防空雷达。

(2) 在对抗中近程跟踪打击雷达时,中波段、高波段雷达的波长较小,方位维、距离维分辨率精度都很小,可以有效实现集群编队的目标分辨,故典型中近程预警搜索雷达工作主要在 X 波段、垂直极化,作用距离推算出在天线波束宽度内角分辨,再推算距离维、方位维分辨,若小于编队间距,则采用加装龙勃透镜方式迷惑欺骗。通过中心集群无人机的龙勃透镜加装设计,达到诱饵机类比被模拟机的散射特征,RCS 模仿的误差精度 $\leq 3\text{dB}$,可以干扰雷达检测概率,利用高逼真度的 RCS 迷惑欺骗敌防空雷达,分析数据见表2。

表2 诱饵模拟散射特性数值分析对比

| | 频率 GHz | 1.5 | 1.5 |
|--------|--|-----------------------|-----------------------|
| | 极化 | 水平 | 垂直 |
| 诱饵机 1 |  | 3.275m ² | 3.196m ² |
| 诱饵机 2 |  | 2.960m ² | 2.908m ² |
| RCS 误差 | dBsm | 5.01 \approx 5dB | 5.41 \approx 5dB |

加改装龙勃透镜的诱饵机 2 模拟大疆 T-20 无人机效果数值分析对比如图 1 所示:

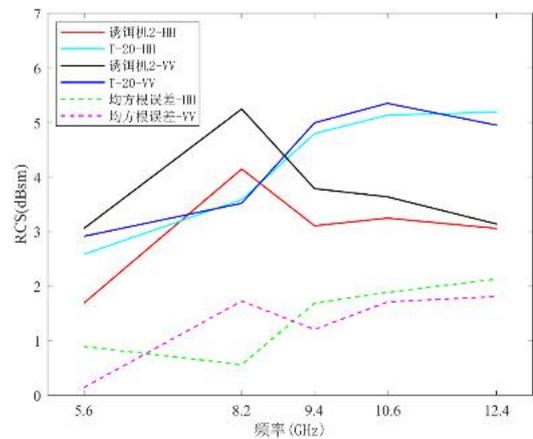


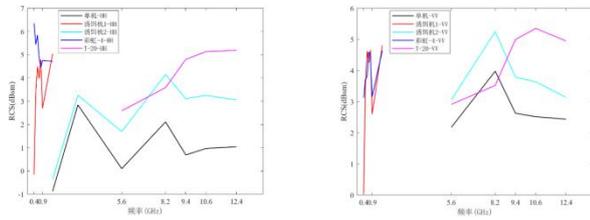
图1 散射特性设计结果

试验数据表明:作为诱饵机无人机可以从散射特性实现被模拟目标的散射量级,诱饵机与被仿级系统 RCS 相对,认为可以迷惑欺骗敌防空雷达。

3.3 诱饵机的频谱特性

在压制敌防空任务中,诱饵机模拟运动特性、散射特性飞行,在对抗光学区雷达时,还需要分析频谱稳定性,塑造敌防空雷达体系中各个频段雷达对诱饵机特性的一致性,尽量避免各个频段雷达的特性跳变,在光学区内形成相对一致性的结论,提高对敌防空雷达体系迷惑欺骗的置信度。但是,针对 P 波段远程预警雷达,属于目标特性谐振区,RCS 特性的频率特性剧烈变化,需要诱饵机和被模仿对象之间的起伏差异类似,避免产生怀疑,频率的起伏特性数值分析对比如图 2、表 3

所示:



(a) 频谱起伏特性-水平极化 (b) 频谱起伏特性-垂直极化

图 2 极化特性设计结构

表 3 诱饵模拟频谱射特性数值分析对比

| dBsm | 极化 | 均值 | 方差 |
|-------|----|--------|--------|
| 诱饵机 1 | 水平 | 3.4579 | 3.2172 |
| | 垂直 | 3.4989 | 2.9327 |
| 被模拟 1 | 水平 | 5.2031 | 0.4817 |
| | 垂直 | 3.9289 | 0.4214 |
| 诱饵机 2 | 水平 | 2.5937 | 2.2214 |
| | 垂直 | 3.7754 | 0.7775 |
| 被模拟 2 | 水平 | 4.2602 | 1.2946 |

参考文献:

[1] 潘奎,李陆军,潘竟峰,等. 反辐射无人机对抗雷达诱饵阵方法研究[J].雷达与对抗,2020,40(03):20-24+68.
[2] 潘奎,许鹏程,高洪波,等. 基于雷达诱饵空间分离的反辐射无人机攻击航迹分析[J].火控雷达技术,2020,49(01):7-12+24.

| | | | |
|--|----|--------|--------|
| | 垂直 | 4.3478 | 1.1331 |
|--|----|--------|--------|

试验数据表明: 经过目标特性设计的诱饵机对频率的敏感度方差 RCS 方差在谐振区内 $3.2 < 5\text{dB}$ 、在光学区内 $2.2 < 3\text{dB}$, 可以从频谱特性实现目标模拟。

3.4 诱饵机的极化特性

在压制敌防空任务中, 诱饵机以被模拟机的运动特性、散射特性、频率特性飞行, RCS 是表征雷达目标散射的幅度特性, 但是缺乏对于目标雷达回波的相位特性和极化特性。在对抗不同极化方式雷达时, 分析被模拟机的极化稳定性是迷惑欺骗的重要方式。敌防空雷达目标识别的核心技术之一是目标极化散射矩阵, 诱饵欺骗需要塑造敌防空雷达体系中各个极化雷达对诱饵机特性的一致性, 尽量避免极化雷达的特性跳变, 在极化域内形成相对一致性的结论, 提高对敌防空雷达体系迷惑欺骗的置信度, 极化的起伏特性数值分析对比见图 2、表 3:

试验数据表明: 诱饵机对极化的敏感度 RCS 方差 $3.2 < 5\text{dB}$, 可以从极化特性实现被模拟的伪装。

4 结论

飞航式雷达诱饵无人机的迷惑欺骗以伪装前后的目标特性设计点为技术基础, 以构型变化策略为技术抓手, 实现诱饵机在运动特性、散射特性、频谱特性和极化特性等 4 个维度的目标特性设计研究, 在该维度内实现模拟机和被模拟机的特性趋同, 从而实现诱饵欺骗。