

电子干扰对空空导弹的作战效能影响分析*

李海军, 刘强昌, 周立军

(海军航空工程学院, 山东烟台 264001)

摘要: 为了研究电子干扰系统在现代空战中的战术作战效用, 文中建立了某型空空导弹的发现概率模型和命中概率模型, 并对由于电子干扰而影响发现概率和命中概率的因素进行分析, 最后进行了仿真计算。

关键词: 电子干扰; 空空导弹; 命中概率; 作战效能

中图分类号: TN97; TJ762.23 文献标志码: A

Influences of Electronic Interference on the Combat Effectiveness of Air-to-air Missile

LI Haijun, LIU Qiangchang, ZHOU Lijun

(Naval Aeronautical Engineering Institute, Shandong Yantai 264001, China)

Abstract: In order to reflect the tactics efficiency of the electronics interferences in the modern air war, the acquisition probability model and shot probability model are established, and then the factors that affect the acquisition probability and shot probability are analyzed. An example simulation is conducted at last.

Keywords: electronic interference; air-to-air missile; shot probability; combat effectiveness

0 引言

现代空战中, 空空导弹是一种最重要的进攻性武器。如今为应付空空导弹的威胁, 各国不断研究发展飞机的防御系统。其中, 电子干扰就是一种重要的作战手段。武器系统在电子战环境中作战时, 所需目标信息的正常获取受到破坏, 如搜索雷达的发现概率降低、虚警概率增大; 跟踪雷达的跟踪精度降低; 以及最后导弹的命中概率降低。文中分析空空导弹的发现概率与命中概率, 通过比较在有无干扰条件下这二者的不同, 说明电子干扰在现代作战中的重要影响。

1 空空导弹面临的主要电子干扰设备

1.1 噪声干扰机

噪声干扰机是现代干扰机的主要类型, 它适用于各种战术目的。噪声干扰机几乎不需要知道被干扰系统的详细特性, 只需知道被干扰雷达的部分性能参数(如工作频率等), 就可以实施有效的干扰, 工作方式简单。

遮盖性干扰的主要信号是噪声, 从理论上讲高斯白噪声是最佳干扰信号, 其原因是高斯白噪声对特定平均功率的任何随机波形都具有最大熵或不确定性。根据噪声信号的不同产生方式, 可将有源遮盖性干扰分为射频噪声干扰、噪声调幅干扰、噪声调频干扰和噪声调相干扰等形式。

1.2 欺骗式干扰机

欺骗式干扰机主要用作自卫式干扰, 干扰火炮控制雷达、导弹跟踪制导雷达等, 主要实施距离欺骗、角度欺骗和速度欺骗。它的特点是干扰能量利用好, 用它干扰一部雷达所需的能量比噪声干扰机小得多。

欺骗性干扰的原理是采用虚假的目标和信息作用于雷达的目标检测和跟踪系统, 使雷达不能正确检测真正的目标或者不能正确测量真正目标的参数信息, 从而达到迷惑和扰乱雷达对真正目标检测和跟踪的目的。根据真假目标参数信息的差别可将欺骗性干扰分为以下几种: 距离欺骗干扰、角度欺骗干扰、速度欺骗干扰、AGG欺骗干扰和多参数欺骗干扰等几种。

* 收稿日期: 2008-04-27

作者简介: 李海军(1965-), 男, 山东德州人, 副教授, 博士, 研究方向: 机载弹药武器系统。

1.3 引信干扰机

引信干扰机专门用来干扰炮弹、导弹的近炸无线电引信,使之提前引爆。由于导弹引信一般在距离目标 200~400m 时才开机工作,而且干扰必须使得引信在目标进入导弹战斗部的动态杀伤区之前失效,使它不能爆炸或提前爆炸。因此,实施电子侦察和干扰时间一般都很短,干扰往往采用宽带阻塞式干扰或欺骗式干扰^[1]。

1.4 自适应干扰机

自适应干扰机是一种由计算机控制、能针对雷达特性和威胁等级实施快速有效干扰的新型干扰机。这类干扰机的关键部件是高速数字计算机,干扰机的 ESM 系统能够自动获取雷达参数,进行信号分选、识别、确定雷达的性质和威胁程度,根据雷达参数确定最佳干扰样式,并在方向、频率、时间上对干扰进行控制、引导,并检查干扰效果。

此外还有其他主要几种干扰机,如双模干扰机、一次使用干扰机和相控阵干扰机等。

2 空空导弹发现概率分析

空空导弹在本身性能参数确定的情况下,制导雷达的发现概率主要取决于雷达环境特性。一般地,如果信噪比 S/N 超过检测门限,则可以保证在一定虚警概率 P_F 条件下达到一定的发现概率(或检测概率) P_d 。但由于干扰作用,信噪比 S/N 发生变化,从而导致发现概率也随之变化。当信噪比超过一定值时,雷达将无法正确发现目标。

只考虑雷达的内部噪声,正常情况下(无干扰条件下)的发现概率 P_d 可表示为^[2]:

$$P_d = \int_{V_T}^{+\infty} \frac{V}{\sigma^2} \cdot \exp\left[-\frac{V^2 + V_S^2}{2\sigma^2}\right] \cdot I_0\left[\frac{VV_S}{\sigma^2}\right] dV \quad (1)$$

式中: V_S 为信号电压; V 为信号与内部噪声相加的电压; V_T 为最小可检测信号门限电压; $I_0\left[\frac{VV_S}{\sigma^2}\right]$ 为零阶贝塞尔函数; σ^2 为内部噪声信号方差。

考虑到实际情况中,加到接收机中频滤波器上的噪声是宽带高斯噪声,其通过窄带中频滤波

器以及包络检波器后,输出噪声电压振幅的概率密度函数 $f_N(V_J)$ 为:

$$f_N(V_J) = \frac{V_J}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{V_J^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

式中: $f_N(V_J)$ 为随机噪声的概率分布; V_J 为随机噪声电压。

并且又有如下关系^[3]:

$$P_F = \int_{V_T}^{+\infty} f_N(V_J) dV_J \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)得:

$$P_F = \exp\left[-\frac{V_T^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

由此得:

$$\frac{V_T^2}{2\sigma^2} = \ln \frac{1}{P_F} \quad (5)$$

并且又有:

$$\frac{V_S}{\sigma} = \sqrt{\frac{2S}{N}} \quad (6)$$

最后得:

$$P_d = \exp\left[-\frac{S}{N}\right] \int_{-\ln P_F}^{\infty} \exp(-r) \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{2} \left|\frac{S}{N} \cdot r\right|\right]^n \frac{1}{n!} dr \quad (7)$$

式中: $r = \frac{V^2}{2\sigma^2}$

通过上式可知道,在虚警概率确定的情况下,雷达的发现概率是以信噪比为自变量的增函数,随着信噪比的变化而变化。在实际作战中,当空空导弹受到电子干扰时,信噪比减小,其发现概率随之降低,从而空空导弹的作战效能受到影响。

3 空空导弹命中概率分析

命中概率(HP, hitting probability) 是脱靶量测量的多次统计值。它是衡量导弹制导精度的一个指标,反映了导弹本身的制导性能。命中概率不仅可以通过实弹射击的方法获取,还可以通过数字仿真和半实物仿真得到。最后通过靶场的实弹射击验证,就可以全面、准确、客观地评价导弹的制导精度^[4]。

3.1 无干扰条件下的命中概率

命中概率描述了制导系统的特性,而理想的制导系统将确保导弹准确无误的命中目标,不发

生差错。但是,由于种种客观因素,实际弹着点一般都有偏差,并且这种偏差在一定范围分布。

图 1 示意了导弹在无干扰条件下命中目标的几何关系。图中 T 为目标中心, D 为引线引爆点, γ_k 为战斗部的杀伤半径, Δ_1 为导弹脱靶量。一般可认为弹着点的散布遵从正态分布规律,且概率密度函数为:

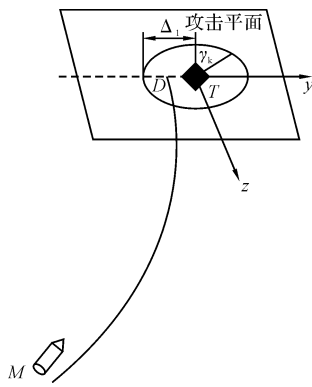


图 1 无干扰导弹攻击目标的几何关系

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{z-\mu_z}{\sigma_z}\right)^2\right]\right\} \quad (8)$$

式中: μ_y, μ_z 为弹着点的数学期望, σ_y, σ_z 为弹着点的标准误差。在不存在系统误差的条件下,一般可能 $\mu_y = 0, \mu_z = 0$ 。

从雷达制导导弹攻击目标图示平面上看,只要弹着点 D 相对目标 T 的距离(即脱靶量) r 满足: $r \leq \gamma_k$, 就应认为导弹可能摧毁目标。

所以导弹命中概率可以由射击散布密度函数在目标散布平面范围内的积分给出。假定目标在散布平面上投影为圆形, γ_k 为战斗部的杀伤半径,没有系统误差的情况下(瞄准中心与期望弹着点重合),此时 $\sigma_y = \sigma_z = \sigma, \sigma$ 为射击脱靶量均方根误差,则命中概率可表示为^[5]:

$$P = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \int_0^{\gamma_k} \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) x dx d\theta \quad (9)$$

由此,只要知道射击散布均方根误差 σ , 以及弹头战斗部杀伤半径 γ_k , 就可求出导弹命中概率。

3.2 有干扰条件下的命中概率

当导弹受到电子干扰后,其跟踪测量产生很大的系统误差,但仍认为引导系统的引导偏差服从正态分布,如图 2 所示。比较图 1、图 2 可知,这样的直接后果是,使射击脱靶量分布函数中的射击脱靶量数学期望值和均方根脱靶量增大:

$$\bar{x}_j > \bar{x} \quad \sigma_j > \sigma$$

这时的导弹命中概率为:

$$P_j = \frac{1}{2\pi\sigma_j^2} \int_0^{\gamma_k} \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{x_j^2}{2\sigma_j^2}\right) x_j dx_j d\theta \quad (10)$$

比较式(9)和式(10),由于 $\bar{x}_j > \bar{x}, \sigma_j > \sigma$, 显然: $P_j < P$ 。

3.3 算例与仿真计算

在进行仿真计算时,以某破片式战斗部战术导弹为例,该导弹战斗部的杀伤半径是 50m, 并且飞机在散布平面的投影为圆形。

由图 3 可以看出,导弹的命中概率随射击脱靶量均方根误差的增大而减小,而电子干扰的直接结果就是使脱靶量均方根误差增大。

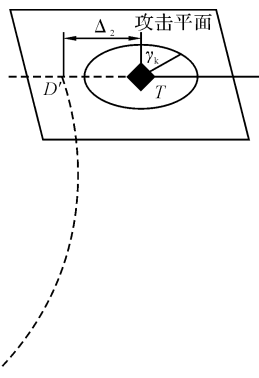


图 2 干扰条件下导弹攻击目标的几何关系

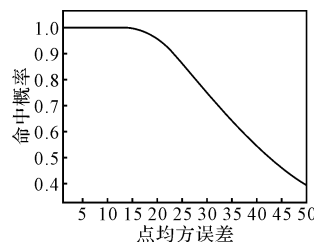


图 3 命中概率随脱靶均方误差变化关系

4 结束语

电子战作为一种重要的作战样式,在现代空战中发挥着越来越重要的作用。

文中分析了电子干扰条件对空空导弹的发现概率和命中概率的影响,仿真结果表明电子干扰是降低空空导弹作战效能的主要因素。未来战争中,空空导弹必须采用一定的抗干扰有效手段来提高空空导弹的作战能力。

参考文献:

- [1] 张永顺,童宁宁,赵国庆. 雷达电子战原理[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [2] 王国玉,汪连栋. 雷达电子战系统数学仿真与评估[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [3] 李相民,张安,张斌. 压制性干扰对地面警戒雷达的效能影响分析[J]. 电光与控制,2006,13(1):1-4.
- [4] 桑炜森. 电子对抗效能分析与评估模型[M]. 北京:解放军出版社,1999.
- [5] 张安. 航空武器系统分析导论[M]. 西安:西北工业大学出版社,2001.