

雷达抗有源干扰性能的综合指标及仿真评估

魏麦成¹, 田野², 陈清远³

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 93448 部队, 天津 大港 300270; 3. 94620 部队, 福建 福州市 350002)

摘要:通过对有源干扰特点的分析和雷达在各种有源干扰下的特点研究,提出了评定雷达抗有源干扰性能的综合指标,建立了雷达对抗模型,给出了计算该指标的数学模型。基于系统测试的方法,在典型化处理干扰机参数和飞行航线的条件下,给出了仿真评估方法。

关键词:有源干扰;雷达对抗模型;仿真评估

中图分类号:E274.6;TN97 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)01-0030-04

目前对雷达对抗有源压制性干扰的性能评定主要表现在两个方面,一是性能指标的选取,二是评定方式的确定。对性能指标,可用“干扰中可见度”、“改善因子”、“压制系数”、“最大发现距离”等指标。在方法上常把雷达的抗干扰性能分为“干扰抑制技术”和“干扰回避技术”两部分分别进行检验。

对雷达抗有源干扰性能进行评估,实际是个测试问题。雷达作为被测对象,利用在被测对象上作用一定的“标准信号”来考察它的输出表现,就可得到被测对象的有关性能。

1 有源干扰分析

实施突防的攻击机常常得到远方干扰机的支援和随队飞行干扰机的掩护。攻击机通常自身带有自卫干扰设备。它们构成了针对地面情报雷达的干扰诸元。干扰诸元的合理配置能使突防效果更为显著。有源干扰通常采用窄带瞄准干扰和宽带阻塞干扰。远距离干扰机常采用宽带阻塞干扰,伴随干扰机和攻击机由于距离雷达较近,可采用窄带瞄准干扰和宽带阻塞干扰。由于较近距离的关系和肩负的突防任务,过早开启干扰机易成为信标作用而被雷达方的防空火力毁伤。较近距离使实时获得雷达工作参数成为可能,所以伴随干扰机和自卫攻击机常采用窄带瞄准干扰。

掩护和支援干扰机辐射的压制性干扰信号主要使雷达显示器在进攻编队方向上出现一定角度的扇形辉亮区以掩护编队攻击机飞行。远距离干扰信号从雷达天线副瓣方向、伴随干扰信号从天线主瓣方向进入雷达接收机。攻击机的自卫干扰信号主要是将目标信号淹没。

压制性干扰不论采用阻塞式还是瞄准式,都是尽量设法使干扰信号功率尽可能多的进入雷达接收机,使雷达接收机输出端的信噪比降低,阻碍雷达更快更可靠地发现目标。干扰机通常采用的干扰信号主要有噪声调幅干扰、噪声调频干扰和噪声调幅调频干扰。通过分析,正态分布噪声是理想的干扰波形,它对目标信号有最好的淹没作用。因此,干扰信号对雷达的作用实际上是噪声作用于雷达接收机。

2 雷达抗干扰分析

空间多个干扰源对雷达作用时,相当于在雷达接收机输入端作用多个正态白噪声电压信号。典型的雷达接收机如图1所示。

收稿日期:2001-01-20

作者简介:魏麦成(1962-),男,陕西武功人,副教授,硕士,主要从事导弹控制与测试研究。

这里线性系统 I 代表混频器和中放。其带宽决定于中放的带宽, 检波器是非线性系统, 它对中放输出的包络进行变换。线性系统 II 表示接收机的视放。当输入噪声为正态分布时, 窄带线性系统的输出也为正态分布, 而包络为瑞利分布。检波器的非线性特性决定于加在检波二极管两端的输入信号的大小。输入信号大时, 检波器特性近视为线性; 输入信号小时, 检波器特性为平方率特性。当窄带噪声作用于线性检波器时, 输出的噪声概率分布为瑞利分布。对雷达信号的检测方法常用门限电平来判决, 判决准则选用聂曼—皮尔逊准则。在给定虚惊概率时, 即门限电平给定时, 使得正确发现概率最大。在给定虚惊概率和发现概率的具体值时, 能够得到雷达正常工作要求的最小信噪比。搜索雷达被设计用来探测目标时, 在最大作用距离时的信噪比很低, 故 p_{fa} 一般选得较高, 在 10^{-6} 到 10^{-10} 之间, 而 p_d 在 0.5 左右; 跟踪雷达常在大信噪比下工作, p_{fa} 常选得较低, 可达 10^{-12} 以下, 发现概率选得较高, 如 0.9。

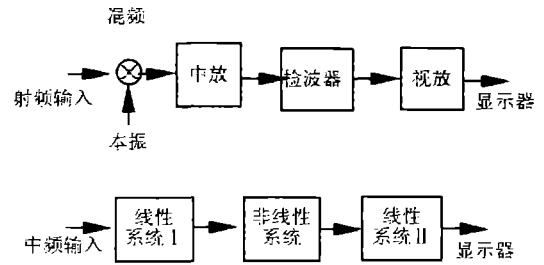


图 1 雷达接收机及其物理模型

3 抗干扰综合指标

若保持雷达在无干扰条件下的接收机输入端所要求的最小信噪比不变, 即雷达所要求的虚惊概率和发现概率与无干扰条件下的虚惊概率和发现概率相同, 置雷达于典型有源干扰环境中, 此时所获得的雷达最大作用距离由于采用了和无干扰时的雷达最大作用距离相同的判决规则和参数, 因而具有直观的可比性。为衡量同类雷达设备的抗有源干扰性能的强弱, 引入雷达抗有源干扰有效率的概念, 其计算公式为

$$\mu = \frac{R_{cmax}}{R_{0max}} \tag{1}$$

其中, R_{0max} 为雷达在无干扰条件下的最大作用距离, R_{cmax} 为雷达在典型有源干扰条件下的最大作用距离。显然 $\mu \leq 1$ 。 μ 越大说明雷达抗有源干扰的能力越强。

4 雷达对抗模型

远距支援干扰机对雷达的有效压制区是以干扰机和雷达的连线为轴、两边对称于此轴线的—个心状曲线。该曲线上的各点与雷达原点之间的距离随方位角的不同而不同。二维情况下曲线方程为

$$\left. \begin{aligned} D_i^2 &= \frac{R_{jv}}{\sqrt{A}} \theta_{iv} - H^2 \\ A &= \frac{P_{jv} G_{jv}}{P_i G_i} \cdot \frac{\gamma_{jv}}{K_a} \cdot \frac{4\pi k_{jv} \theta_{0.5}^2}{\sigma} \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

其中: θ_{iv} 为干扰信号偏离雷达天线方向图最大方向的角度, H 为被支援目标高度, D_i 为雷达与干扰机之间的水平距离, σ 为目标的雷达有效反射面积, K_a 为压制系数, γ_{jv} 为极化损失, k_{jv} 为天线方向图等效方程中的等效常数, R_{jv} 为干扰机到雷达之间距。

随队干扰机对攻击编队的掩护作用主要使雷达显示荧光屏在目标出现的扇区“淹没”目标亮点。随队干扰机在雷达显示器形成亮点扇区时, 干扰机功率在雷达方向图的 θ_{js} 角方向上进入雷达接收机的干扰信号电平大于接收机内部噪声电平—定倍数。

$$\Delta\theta_{js} = 2\theta = 2 \left(\frac{P_{js} G_{js}}{P_i G_i \sigma} \cdot \frac{4\pi \gamma_{js} K_{js}}{K_a} \right)^{1/2} \cdot \frac{\theta_{0.5} R_i^2}{R_{js}} \tag{3}$$

其中攻击编队可认为是运动的面目标, 其等效半径为 r , 则有效干扰扇面为 $\Delta\theta_{js}$ 还须满足:

$$\Delta\theta_{js} \geq 2\arcsin\left(\frac{r}{R_{min}}\right) \tag{4}$$

其中 R_{min} 为最小压制距离。自卫干扰机对雷达也有压制作用。

综合干扰下, 随机干扰和突防机群的飞行航线受到—定的限制, 它们沿着远距支援干扰机和雷达连线的

附近(偏离角不太大)突防飞行时,对雷达有较好的综合干扰效果。因此干扰模型下的各干扰机,应有典型的干扰航线。典型干扰模型下干扰诸元与雷达之间构成了雷达的对抗模型。

5 复合干扰对雷达干扰作用的数学模型

在确定的空中复合干扰下,即远距、随行干扰机和自卫攻击编队以确定的航线向地面雷达实施突防,用于评估雷达抗干扰性能时,设航线为直线。在雷达天线方向图最大方向对准目标时,设远距支援干扰机和随行掩护干扰机与方向图最大方向的夹角为 θ_{js} 和 θ_{jy} 。在雷达接收机输入端的干扰功率分别为

随队掩护干扰下:

$$P_{rs} = \frac{P_{js} G_{js} G_1 \theta_{js} \lambda_{js}^2 \gamma_{js}}{(4\pi)^2 R_{js}^2} \cdot \frac{\Delta f_r}{\Delta f_{js}} \tag{5}$$

远距支援干扰下:

$$P_{ry} = \frac{P_{jy} G_{jy} G_1 \theta_{jy} \lambda_{jy}^2 \gamma_{jy}}{(4\pi)^2 R_{jy}^2} \cdot \frac{\Delta f_r}{\Delta f_{jy}} \tag{6}$$

自卫干扰下:

$$P_{rz} = \frac{P_{jz} G_{jz} G_1 \theta_{jz} \lambda_{jz}^2 \gamma_{jz}}{(4\pi)^2 R_{jz}^2} \cdot \frac{\Delta f_r}{\Delta f_{jz}} \tag{7}$$

总干扰功率:

$$P_j = P_{rs} + P_{ry} + P_{rz} \tag{8}$$

目标回波功率:

$$P_r = \frac{P_t G_t \sigma \lambda_t^2}{(4\pi)^3 R_t^4} \tag{9}$$

雷达接收机输入端的信噪比:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_m = \frac{P_r}{P_j + P_n} \tag{10}$$

式(10)中 P_n 为接收机内部噪声在输入端的等效热噪声。可以看出,目标的回波功率随距离的减小呈四次方增大,而干扰功率则呈平方次增大。在雷达接收机输入端最小可检测信噪比确定的情况下,式(10)中的信噪比随距离的减小而增大。如规定一个发现概率值,则对应着一个距离值。不同发现概率值时的距离有不同的距离值和名称,如自卫距离等。在选用了无干扰时的雷达最大作用距离作为考察标准,此时的雷达最大作用距离即为式(1)中的 R_{cmax} 。

通常雷达抗干扰措施可分为波形选择、极化选择、频率选择、信号处理、功率对抗、空间选择以及抗有源干扰的一些电路如宽限窄抗干扰电路、恒虚惊处理等。这些不同措施对抗干扰性能的改善可用相对获益衡量。在雷达工作中,这些抗干扰措施体现为系统固有的性能和通过人工操作能改变的雷达性能,如改变雷达转速、频率捷变技术、天线波束零控技术等。一般情况下,应结合雷达的具体技术措施调整雷达方程中的具体参量,可解决这类问题。

6 仿真评估

在确定的干扰机配置、干扰类型、干扰方式、干扰机的有关参量以及干扰机的飞行航线下,按式(5)~(10)就可计算出在干扰环境下的最大作用距离,再用式(1)就可得到雷达抗干扰有效率的指标值。评估仿真软件结构图如图2所示。

在航线想定时,作为干扰方,应尽量从提高干扰效果的角度想定航线。评定各种雷达的抗干扰性能时,应选择“标准航线”;结合战术要求想定航线时,也可得到雷达在此时的抗干扰性能,但不能作为评定参数。干扰操纵台设置有远距

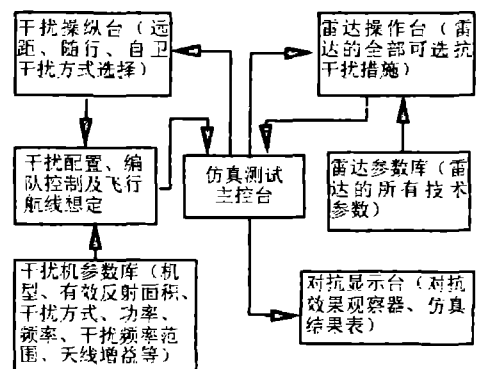


图2 仿真测试系统结构框图

支援、随队、自卫干扰方式(瞄准、宽带阻塞)选择作为干扰方。干扰机的有关参数取自干扰机参数数据库,主要包括名称、机型、所载干扰机的功率、干扰频带、天线增益、干扰方式、干扰机的数量、有效反射面积等;雷达操纵台设有多种分类的抗干扰措施供雷达操作员选择。在“测试”状态下,应选取该雷达的全部抗干扰技术措施;雷达的技术参数取自雷达参数数据库,主要包括型号、最大作用距离、发射功率、工作体制、工作频率、接收机带宽、接收机灵敏度、天线方向图参数等。主控台负责各模块的控制,并计算典型航迹和其他战术航迹下雷达的最大作用距离。在目标进入最大作用距离范围时,输出结果数据到对抗显示台。

对抗显示台设有对抗效果观察器(仿真的PPI显示器)和仿真结果表,仿真测试结果从该表格得到。通过充分掌握雷达的有关技术性能和抗干扰措施的实际性能,可以做出较为准确的获益调整值,使得干扰下的雷达最大作用距离仿真值更准确。对情报雷达1、雷达2、雷达3的仿真结果如表1所示。

表1 情报雷达1、雷达2、雷达3的仿真结果

	雷达1	雷达2	雷达3
最大作用距离 R_{0max}/km	250	200	180
最大作用距离 R_{Lmax}/km	43	65	39
抗干扰有效率 μ	0.172	0.325	0.217

7 结论

本文基于系统测试的观点,通过对有源压制性干扰及对雷达的干扰压制作用原理与特点的分析,提出了全面衡量雷达抗有源压制性干扰的抗干扰有效率综合指标,建立了雷达抗有源压制性干扰的对抗模型和在此模型下计算雷达抗干扰有效率的相应数学模型,给出了仿真评估方法。对模型中的干扰诸元做出典型或标准化处理后,利用仿真方法可以评估情报雷达的抗有源压制性干扰的性能,在实际使用中获得了较为满足的效果。

参考文献:

- [1] 林象平. 雷达对抗原理[M]. 西安:西北电讯工程学院出版社,1985.
- [2] 韩培尧. 雷达对抗技术[M]. 北京:国防工业出版社,1980.
- [3] Jerry L. Eaves Principle of modern radar[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company,1987.
- [4] 陈永光. 复合干扰对多级雷达系统的对抗效能研究[J]. 现代雷达,1999,21(4):1-6.
- [5] 吴少鹏. 雷达抗有源压制性干扰性能的指标和评估方法[J]. 现代雷达,1999,21(3):1-6.
- [6] 王鹤磊. 不同条件下雷达作用距离换算公式的推导[J]. 现代雷达,1999,21(2):23-27.

(编辑:田新华)

The Synthetic Index and Emulating Evaluation on Performance of Radar Against Active Jamming

WEI Mai-cheng¹, TIAN Ye², CHEN Qing-yuan³

(1. The 2nd Air Force Research Institute, Beijing 100076, China; 2. PLA Unit 93448, Dagang, Tianjin 300270, China; 3. PLA Unit 94620, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Through analyzing the characteristics of active jamming and studying the characteristics of radar against various active jamming, the synthetic index on evaluating the performance of a radar against active jamming is proposed, a radar combat model is established and its corresponding mathematical model is built up. Based upon system testing method, under the conditions of typically designing the parameters of jammers and its flying traces, the emulating evaluation method is set up.

Key words: active jamming; radar combat model; emulating evaluation