

# 双基地雷达抗有源压制性干扰性能分析

余洪涛, 张永顺, 田波

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**分析计算了几种特定干扰情况下的双基地雷达抗有源压制性干扰性能,并与单基地雷达情况进行了比较,得出了有价值的结论。

**关键词:**双基地雷达;有源压制;干扰

**中图分类号:**TN955 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)02-0034-04

双基地雷达是一种收发分置式雷达,在电子战方面具有潜在优势。双基地雷达基线距离不同、干扰机(自携式)飞行方向不同,其抗压制性干扰效果也不同。本文分析计算了几种特定干扰情况下的双基地雷达抗有源压制性干扰性能,并与单基地雷达情况进行了比较。

## 1 单、双基地雷达干扰公式

### 1.1 单基地雷达的干扰—信号比

当“自携式”干扰机(假定其飞行方向为干扰信号主瓣方向)对单基地雷达实行压制性干扰时,一般直接对发射机(接收机)实施干扰。此时,到达发射机的回波信号将包括两部分:干扰信号和目标的散射信号。干扰信号功率  $P_s$ 、目标回波信号功率  $P_r$  表达式<sup>[1]</sup>分别为

$$P_s = \frac{p_j G_j \lambda^2 G_i}{(4\pi)^2 R_T^2} \quad (1)$$

$$P_r = \frac{\rho_i G_i^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_T^4} \quad (2)$$

其中:  $p_j$  为干扰机的输出功率;  $G_j$  为干扰机主瓣(或副瓣)增益;  $\lambda$  为雷达的工作波长;  $G_i$  为发射机(接收机)的增益;  $R_T$  为干扰机到发射机的距离;  $\rho_i$  为发射机的输出功率;  $\sigma$  为雷达截面积。

式(1)除以式(2)可得单基地雷达的干扰—信号比  $k_{js}$ :

$$k_{js} = \frac{P_s}{P_r} = \frac{4\pi \cdot p_j}{\rho_i G_i \sigma} \cdot G_j R_T^2 \quad (3)$$

### 1.2 双基地雷达的干扰—信号比

当干扰机对双基地雷达实行压制性干扰时,由于其难以探知接收机的位置,所以只能对接收机实施副瓣干扰。此时,到达接收机的回波信号也包括干扰信号和目标的散射信号两部分。干扰信号功率  $P_c$ 、目标回波信号功率  $P_R$  表达式<sup>[2]</sup>分别为

$$P_c = \frac{p_j G_j \lambda^2 G_r}{(4\pi)^2 R_R^2} \quad (4)$$

$$P_R = \frac{\rho_i G_i G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_T^2 R_r^2} \quad (5)$$

收稿日期:2001-01-30

作者简介:余洪涛(1977-),男,湖北武汉人,硕士生,主要从事雷达和电子对抗研究。

张永顺(1961-),男,陕西咸阳人,教授,博导,主要从事雷达和电子对抗研究。

其中:  $G_j$  为干扰机的副瓣增益;  $G_r$  为接收机的增益;  $R_R$  为目标到接收机的距离;  $R_T$  为干扰机到发射机的距离。

式(3)除以式(4)可得双基地雷达的的干扰—信号比  $k_{jc}$ :

$$k_{jc} = \frac{P_c}{P_R} = \frac{4\pi \cdot p_j}{p_i G_r \sigma} \cdot G_j' R_T^2 \quad (6)$$

式(1)、(3)中  $G_j$  通常都采用经验公式<sup>[1]</sup>。

$$\frac{G_j}{G_j'} = k \left( \frac{\theta_{0.5}}{\theta} \right)^2 \quad (7)$$

其中:  $G_j$  为干扰机主瓣功率增益,  $\theta_{0.5}$  为其半功率波瓣角,  $\theta$  为副瓣与主瓣之间的夹角。  $k$  一般取 0.04 ~ 0.10。对于高增益锐方向天线,  $k$  取大值,  $k = 0.07 \sim 0.10$ ; 对于波束较宽、增益较低的天线,  $k$  取小值,  $k = 0.04 \sim 0.06$ 。还应注意, 式(7)的适用角度范围是:  $\frac{1}{2}\theta_{0.5} \leq \theta < 90^\circ$ 。

### 1.3 单、双基地雷达的暴露区

对于单、双基地雷达, 在某些区域上, 其干扰—信号比  $k_{js}$ 、 $k_{jc}$  大于压制系数  $k_j$  (通常取 3) 时, 雷达将不能发现目标, 这些区域被称为干扰区; 在另外一些区域上, 其干扰—信号比  $k_{js}$ 、 $k_{jc}$  小于  $k_j$ , 雷达能检测到目标, 这些距离构成的区域称为暴露区。当然, 所得的暴露区还必须满足雷达的最大可发现距离条件。因此, 单、双基地雷达的暴露区, 就是由下列不等式组的解集所构成的区域:

对单基地雷达: 
$$\frac{P_s}{P_r} \leq k_j \quad \& \quad \frac{p_i G_r^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_T^4} \geq P_{rmin} \quad (8)$$

对双基地雷达: 
$$\frac{P_c}{P_R} \leq k_j \quad \& \quad \frac{p_i G_r G_r' \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_T^2 R_R^2} \geq P_{Rmin} \quad (9)$$

## 2 参数选取及仿真计算

此次计算中, 双基地雷达发射机、接收机参数为:  $G_r = 33$  dB,  $P_i = 100$  kW,  $\lambda = 10$  cm,  $G_r = 30$  dB,  $P_{Rmin} = 10^{16}$  W; 干扰机参数为:  $G_j = 10$  dB,  $p_j = 100$  W,  $\sigma = 1$  m<sup>2</sup>,  $\theta_{0.5} = 45^\circ$ ,  $k = 0.08$ 。为方便比较, 将双基地雷达发射机作为单基地雷达发射机(接收机)。

由式(3)、(6)可知, 对单、双基地雷达所求的干扰区域与  $R_T$ 、 $G_j$  有关; 而  $G_j'$  又与  $\theta$  有关。  $G_j$  的表达式可近似为下述表达式:

$$G_j = f(\theta) = \begin{cases} -44.1 \times \theta^2 + 10 (0 \leq \theta \leq \pi/8) & (0 < \theta \leq \frac{\pi}{8}) \\ k \times G_j \times \left(\frac{\theta_{0.5}}{\theta}\right)^2 & (\frac{\pi}{8} < \theta < \frac{\pi}{2}) \\ 0.2 & (\frac{\pi}{2} < \theta < \pi) \end{cases} \quad (10)$$

因而, 问题就化为了研究干扰区随  $\theta$  和  $R_T$  的变化关系。下面考虑三种情况: 干扰机对准发射机(向里)飞行、干扰机平行于基线(从右向左)飞行、干扰机垂直于基线(从上向下)飞行。

### 2.1 干扰机对准发射机飞行

对双基地雷达:

在平面坐标里, 设目标  $S(x, y)$ , 发射机  $R_x(0, 0)$ , 接收机  $T_x(L, 0)$ 。根据其位置关系, 可得副瓣与主瓣之间的夹角  $\theta_1$  的函数表达式为

$$\theta_1 = \arccos \frac{R_T^2 + R_R^2 - L^2}{2 \cdot R_T \cdot R_R} \quad G_{jal} = f(\theta_1) \quad (11)$$

其中: 
$$R_T = \sqrt{x^2 + y^2}, R_R = \sqrt{(x-L)^2 + y^2} \quad (12)$$

对单基地雷达:  $G_{jal} = G_j$

将式(11)、(12)代入式(8)、(9)、可以分别得到单、双基地雷达在有源压制性干扰情况下的暴露区域图

(如图 1 中黑影部分所示)。图(a)、图(b)为  $L = 100 \text{ km}$ 、 $L = 200 \text{ km}$  时双基地雷达的暴露区域图,图(c)为单基地雷达的暴露区域图。整个区域取值如下:  $-500 < x < 500 \text{ km}$ ,  $0 < y < 350 \text{ km}$ 。以下同。

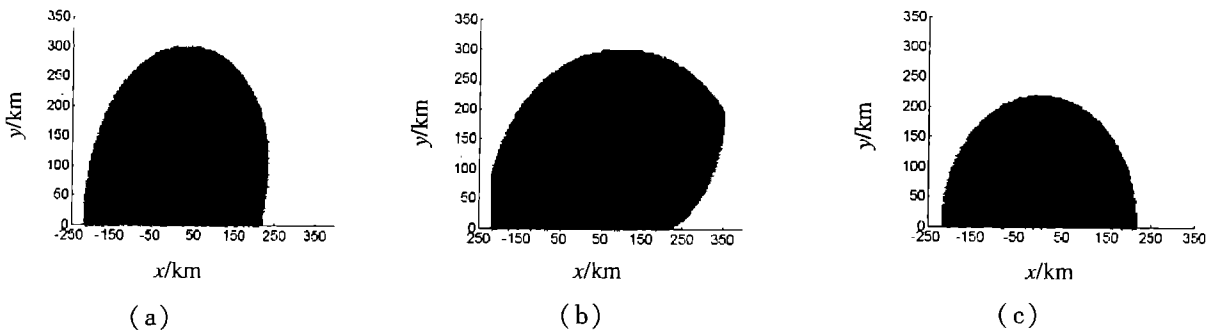


图 1 干扰机对准发射机飞行

从图 1(a)、(b)、(c) 的比较中可以看出:双基地雷达抗干扰区域要比单基地雷达的大;随着  $L$  的增大双基地雷达的抗干扰区域显著增大。当然  $L$  也不能无限制的增大,因为当  $L > 2 \sqrt{k_B}$  ( $k_B = R_T R_R$ ) 时,双基地雷达的观察范围很小,从而影响双基地雷达对目标的探测性能。但若  $L$  选择为一合适值时,可使双基地雷达抗干扰性能达到最佳(在不采用其他抗干扰措施条件下)。

2.2 干扰机平行于基线飞行

对双基地雷达:

当干扰机平行于基线飞行时,根据其位置关系,由三角形的边角关系,可求得此时:

$$\theta_2 = \arccos \frac{R_T^2 + R_R^2 - L^2}{2 \cdot R_T \cdot R_R} + \arccos \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad G_{ja2} = f(\theta_2) \quad (13)$$

对单基地雷达:

$$\theta_2 = \arccos \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) \quad G_{ja2} = f(\theta_2) \quad (14)$$

根据上述公式,仿真计算结果如图 2 所示。

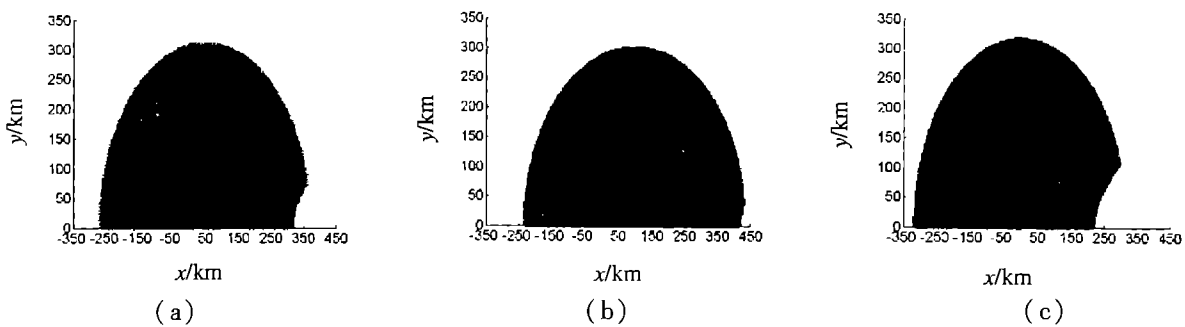


图 2 干扰机平行于基线飞行

从图 2(a)、(b)、(c) 可以看出:当干扰机平行基线从右向左飞行且未到达收发站中心(垂直平分线)位置时,以发射机为参考点,双基地雷达暴露半径比单基地雷达的大。随着  $L$  的增加,双基地雷达暴露半径增大;以接收机为参考点,双基地雷达暴露半径比单基地雷达的小。随着  $L$  的增加,双基地雷达暴露半径变化不大。当干扰机到达收发站中心位置继续向左飞行时,以发射机为参考点,双基地雷达暴露半径比单基地雷达的小。随着  $L$  的增加,双基地雷达暴露半径减小;以接收机为参考点,双基地雷达暴露半径比单基地雷达的大。随着  $L$  的增加,双基地雷达暴露半径变化不大。

2.3 干扰机垂直于基线飞行

对双基地雷达:

干扰机垂直于基线飞行,此时的情况要确定  $\theta$  比较复杂,可分为两种情况:

当航向在接收机左侧( $x \leq L$ )时:  $\theta_3 = \alpha + \beta - 90^\circ$

当航向在接收机右侧( $x > L$ )时:  $\theta_3 = 90^\circ - \alpha - \beta$

则:

$$G_{ja2} = f(\theta_3) \quad (15)$$

对单基地雷达:

当航向在接收机左侧( $x \leq 0$ )时:  $\theta_3' = \alpha - 90^\circ$

当航向在接收机右侧( $x > L$ )时:  $\theta_3' = 90^\circ - \alpha$

则:  $G_{ja2}' = f(\theta_3')$  (16)

其中:  $\alpha = \arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$ ,  $\beta = \arccos\left(\frac{R_T^2 + R_R^2 - L^2}{2 \cdot R_T \cdot R_R}\right)$

根据上述公式,计算结果如图3所示。

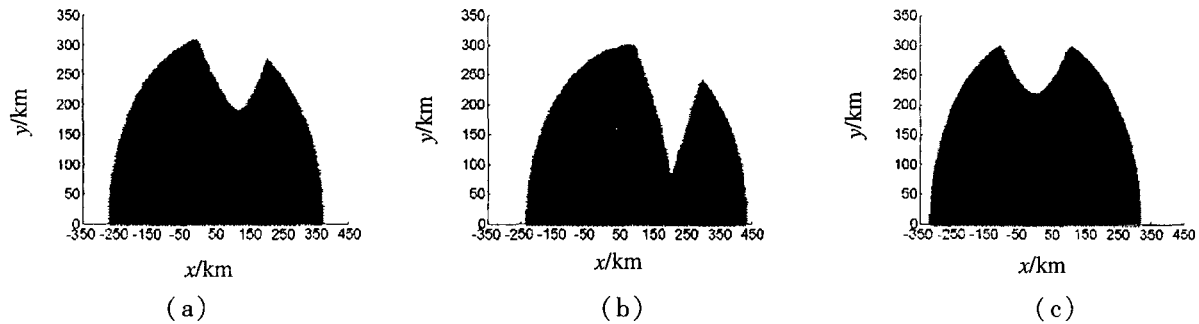


图3 干扰机垂直于基线飞行

从图3(a)、(b)、(c)可以看出:当干扰机对着发射站垂直飞行时,双基地雷达暴露半径比单基地雷达的大。随着 $L$ 的增加,双基地雷达暴露半径减小;在干扰机对着接收站垂直飞行时,双基地雷达暴露半径比单基地雷达的小。随着 $L$ 的增加,双基地雷达暴露半径也减小。

### 3 结束语

本文对三种干扰情况进行了分析和计算,得出了不同情况下的暴露半径。有一点要指出的是:以上结论均是在假定目标雷达散射截面积为定值情况下得到的,实际中目标雷达散射截面积与双基地雷达夹角有关。虽然如此,本文得出的结论对双基地雷达在布局方面的实际应用有重要的参考价值。

#### 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. 433 - 445.
- [2] 杨振起,张永顺,骆永军. 双(多)基地雷达系统[M]. 北京:国防工业出版社,1998. 34 - 38.

(编辑:田新华)

## Analysis of Bistatic Radar's Performance in Resisting the Active Suppressing Jamming

YU Hong - tao, ZHANG Yong - shun, TIAN Bo

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

**Abstract:** In this paper, the performance of the bistatic radar in resisting the active suppressing jamming under several given circumstances is analyzed and calculated. At the same time, some valuable conclusions are reached in comparing the situation of bistatic radar with that of the single static radar.

**Keywords:** bistatic radar; active suppressing; jamming