

双基地雷达对隐身涂敷小球探测面积的计算

张永顺, 余洪涛, 童宁宁
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:依据隐身涂敷小球的双基地雷达截面测量值,计算了双基地雷达对隐身涂敷小球的探测面积,得到了探测面积与基线距离之间的关系曲线图。该结果对双基地雷达的优化配置具有参考价值。

关键词:双基地雷达;雷达截面;隐身目标;探测区域

中图分类号:V556;TN955 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)05-0024-04

双基地雷达是收发基地以一定间距分别部署的雷达,它有两个明显的优点:无源接收和异向散射。双基地雷达可探测面积,主要与收发基地之间的距离、目标双基地雷达截面、发射机和接收机的参数有关。下面以隐身涂敷小球和无涂敷小球为例,根据特定的雷达参数和已知的小球双基地雷达截面测量值,对小球双基地雷达可探测面积进行了计算,得到了探测面积与基线距离之间的关系曲线图。

1 小球的双基地雷达截面表达式

1.1 隐身涂敷小球的双基地雷达截面表达式

图1给出了隐身涂敷小球(直径 D 为2.93 cm)在10 GHz($\lambda = 3$ cm)时的双基地雷达截面测量值,其截面是用 λ^2 进行了归一化后的分贝值^[1]。由图1可知:此小球的双基地雷达截面 σ 与小球双基地角 β 之间难以用单一函数表达式加以描述,因此只能采用分段函数来近似表示。在 $0^\circ \sim 174^\circ$ 每隔 6° 对 β 角采样,得到小球30个对应的双基地雷达截面测量值。当 $\beta = 180^\circ$ 时,小球的前向散射雷达截面 $\sigma_f = 4\pi A^2/\lambda^2 = \frac{1}{4}\pi^3 D^4/\lambda^2$,用 λ^2 归一化后取其分贝值。对此31个取值点进行样条插值,用三次多项式曲线连接相邻四端点,可得到10组分段函数 $f_1(\beta), f_2(\beta), \dots, f_{10}(\beta)$,这样就建立了隐身涂敷小球的双基地雷达截面 σ_m 与夹角 β 之间一一对应关系,其对应关系为

$$\sigma_m(\beta) = \lambda^2 \cdot 10^{\frac{m(\beta)}{10}} \tag{1}$$

其中 $m(\beta)$ 为分段函数:

$$m(\beta) = \begin{cases} f_i(\beta) & 18(i-1) \leq \beta < 18i \quad (i=1, 2, \dots, 9) \\ f_{10}(\beta) & 162^\circ \leq \beta < 175^\circ \\ 0 & 175^\circ \leq \beta < 180^\circ \text{ (去除基线附近的测量模糊区)} \end{cases} \tag{2}$$

1.2 无涂敷小球的双基地雷达截面表达式

图2给出了无涂敷金属小球(直径 D 为2.54 cm)在10 GHz($\lambda = 3$ cm)时的双基地雷达截面的测量值^[1]。同上述方法,可得到10组分段函数 $g_1(\beta), g_2(\beta), \dots, g_{10}(\beta)$ 和无涂敷小球的双基地雷达截面 σ_n 与小球双基地角 β 之间的对应关系:

$$\sigma_n(\beta) = \lambda^2 \cdot 10^{\frac{n(\beta)}{10}} \tag{3}$$

其中 $n(\beta)$ 为分段函数:

$$n(\beta) = \begin{cases} g_i(\beta) & 18(i-1) \leq \beta < 18i \quad (i=1,2,\dots,9) \\ g_{10}(\beta) & 162^\circ \leq \beta < 175^\circ \\ 0 & 175^\circ \leq \beta < 180^\circ \text{ (去除基线附近的测量模糊区)} \end{cases} \quad (4)$$

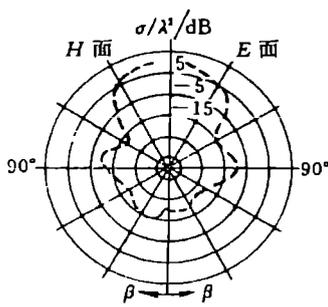


图 1 隐身涂敷小球的双基地雷达截面测量值($\lambda = 3 \text{ cm}$)

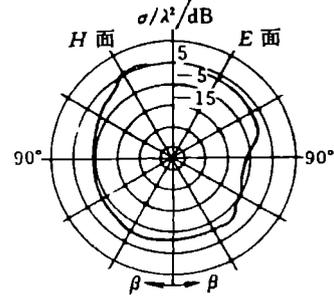


图 2 无涂敷金属小球的双基地雷达截面($\lambda = 3 \text{ cm}$)

2 双基地雷达探测面积计算方法

由自由空间的双基地雷达方程^[1]可计算小球在空间任一位置上接收基地的回波信号功率:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma(\beta)}{(4\pi)^3 R_T^2 R_R^2} \quad (5)$$

式中: P_T 为发射机的脉冲功率, G_T 为发射天线的功率增益, λ 为雷达的工作波长, G_R 为接收天线的功率增益, P_R 为接收回波信号功率, R_T 为目标至发射基地的距离, R_R 为目标至接收基地的距离。若接收回波信号功率 P_R 大于或等于接收机的最小可检测信号功率 $P_{R_{\min}}$, 即:

$$P_R \geq P_{R_{\min}} \quad (6)$$

则目标能被双基地雷达探测到, 反之则不能。

设待探测的方形区域为 S , 将区域 S 进行正方形网格分割, 若正方形的边长为 k , 则各小网格的面积为 k^2 。在平面坐标内, 设任一网格四顶点的坐标为: $M_1(x, y)$, $M_2(x+k, y)$, $M_3(x, y+k)$, $M_4(x+k, y+k)$, 发射基地置于原点 $T(0, 0)$ 处, 接收基地置于点 $R(L, 0)$ 处, 则网格四顶点到发射基地和接收基地的距离为

$$\begin{aligned} M_1 T &= \sqrt{x^2 + y^2} & M_2 T &= \sqrt{(x+k)^2 + y^2} \\ M_3 T &= \sqrt{x^2 + (y+k)^2} & M_4 T &= \sqrt{(x+k)^2 + (y+k)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} M_1 R &= \sqrt{(x-L)^2 + y^2} & M_2 R &= \sqrt{(x+k-L)^2 + y^2} \\ M_3 R &= \sqrt{(x-L)^2 + (y+k)^2} & M_4 R &= \sqrt{(x+k-L)^2 + (y+k)^2} \end{aligned} \quad (8)$$

由式(6)可得计算网格四顶点处隐身涂敷小球能否被探测表示式:

$$\frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma_m(\beta_i)}{(4\pi)^3 \cdot M T_i^2 \cdot M R_i^2} \geq P_{R_{\min}}, \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (9)$$

式中:

$$\beta_i = \arccos\left(\frac{M_i T^2 + M_i R^2 - T R^2}{2 \cdot M_i T \cdot M_i R}\right), \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (10)$$

$$\sigma_m(\beta_i) = \lambda^2 \cdot 10^{\frac{m(\beta_i)}{10}}, \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (11)$$

若四不等式同时满足, 说明网格四顶点处的隐身涂敷小球均能被双基地雷达探测到, 可知该网格包含于双基地雷达对隐身涂敷小球可探测面积 A 中, 其对应的面积 $\Delta A_m = k^2$; 若四不等式至少一个、至多三个满足, 说明网格部分包含于可探测面积 A 中, 其对应的面积 $\Delta A_m \approx k^2/2$; 若四不等式有两个或两个以下满足, 可以

认为此网格不包含于可探测面积 A 中,其对应的面积 $\Delta A_m = 0$ 。当取遍区域 S 中所有网格,将其对应的面积 ΔA_m 加起来,可得到基线距离为 L 时双基地雷达对隐身涂敷小球的探测面积: $A = \sum \Delta A_m$ 。

同样方法可以求得基线距离为 L 时双基地雷达对无涂敷小球的探测面积。应当指出:对于区域 S ,正方形网格分割所得边长 k 越小,即正方形网格面积越小,所得计算值越接近于可探测面积 A 的真实值。

当收发站距离 L 在某一范围内变化时,可分别得到隐身涂敷小球和无涂敷小球对应的双基地雷达可探测面积。

3 计算结果与分析

根据上述计算方法和小球的双基地雷达截面积测量数据,使用 Matlab 语言可以计算出不同 L 情况下双基地雷达的探测区域。双基地雷达的参数取值如下:

发射机的脉冲功率 $P_T = 5 \times 10^5 \text{ W}$,发射天线和接收天线的功率增益 $G_T = G_R = 4 \times 10^3$,雷达的工作波长 $\lambda = 3 \text{ cm}$,接收机的最小可检测信号功率 $P_R = 10^{-11} \text{ W}$ 。在区域 $S: -2 \leq x \leq 30 (\text{ km}), -4 \leq y \leq 4 (\text{ km})$ 进行正方形网格分割,其中 $k = 0.05 \text{ km}$ 。当基线距离 L 在下述范围内变化: $0.5 \leq L \leq 25.5 (\text{ km})$,双基地雷达对小球探测面积的仿真计算结果如图 3、图 4 所示(图中横坐标表示收发站距离 (km) ,纵坐标表示探测面积 (km^2))。

图 3 为双基地雷达对隐身涂敷小球的探测面积与基线距离之间的关系曲线图。当 $L = 11.6 \text{ km}$ 时,双基地雷达对小球的探测面积达到最大值 $A = 25.7 \text{ km}^2$,此时小球的探测区域形状如图 5 黑影部分所示,中心空白区域为双基地雷达基线附近存在模糊区造成的不可探测区域,其它空白区域是由于隐身涂敷小球在有些双基地角 (β) 范围内双基地雷达截面积过小所引起的不可探测区域。

图 4 为双基地雷达对无涂敷小球的探测面积与收发基地距离之间的关系曲线图。当 $L = 2.79 \text{ km}$ 时,

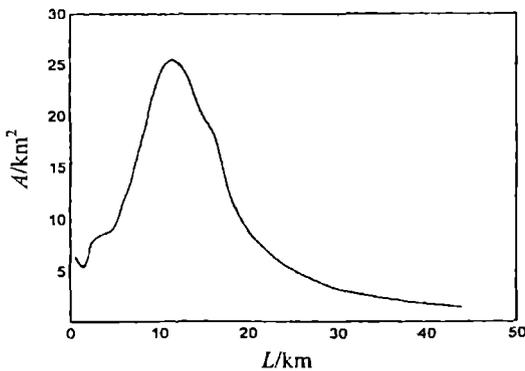


图 3 双基地雷达对隐身涂敷小球的探测面积与基线距离关系曲线

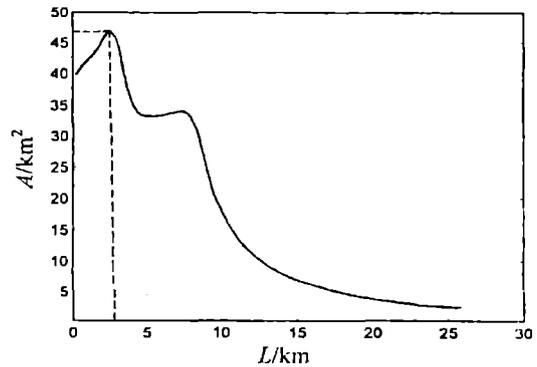


图 4 双基地雷达对无涂敷小球的探测面积与基线距离关系曲线

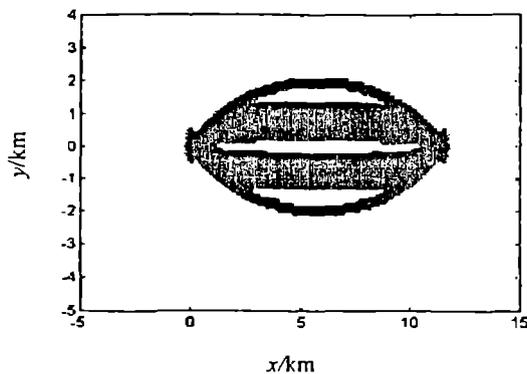


图 5 双基地雷达对隐身涂敷小球的探测区域

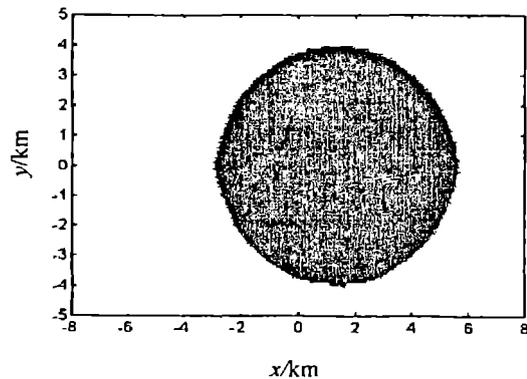


图 6 双基地雷达对无涂敷小球的探测区域

双基地雷达对小球的探测面积达到最大值 $A = 47.6 \text{ km}^2$, 此时小球的探测面积形状如图6黑影部分所示, 黑影中心的空白区域主要是由于双基地雷达基线附近存在模糊区引起的, 由于它相对探测区域的比例较小, 因此看起来不很明显。

4 结束语

本文对隐身涂敷小球和无涂敷小球的双基地雷达探测面积与基线距离之间的关系进行了初步的研究, 所用的研究方法同样适用于其它隐身目标探测区域的计算。对于隐身飞机探测面积的计算, 还应考虑飞机的飞行方向。用计算^[2]或实测方法得到隐身飞机某飞行方向上的双基地雷达散射截面数据后, 根据本文的计算方法, 就可得到双基地雷达对隐身飞机可探测面积与基线距离之间的关系曲线图, 从而为双(多)基地雷达反隐身优化配置提供依据。

参考文献:

[1] 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.

[2] 朱贤阳, 杨儒贵. 复杂目标雷达散射截面计算方法的新进展[J]. 电波科学学报, 1998, 13(3): 34-36.

(编辑: 田新华)

Calculation of the Detectable Area of a Small Stealth Absorber – Coated Ball in Bistatic Radar System

ZHANG Yong – shun, YU Hong – tao, TONG Ning – ning

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

Abstract : In this paper, the detectable area of a small absorber – coated ball in bistatic radar system is calculated according to its metrical data of bistatic radar cross section, then the graph of relation between the detectable area and the baseline range is gained. The result will be a reference to the optimal configuration for bistatic radar system.

Key words: bistatic radar, radar cross section, stealth object, detectable area