

箔条云团的后向雷达散射截面积

杨学斌 吕善伟

(北京航空航天大学电子工程系, 北京, 100083)

BACKSCATTERING CROSS SECTION OF CHAFF CLOUDS

Yang Xuebin, Lu^b Shanwei

(Department of Electronic Engineering, Beijing University
of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083)

摘 要 用矩量法计算了 3 种箔条云团模型的后向雷达散射截面积。计算结果表明平均间距较大时(大于 2 K)互耦对 RCS 影响不大,后向散射截面积的概率分布无论考虑互耦与否都满足指数分布,只是其数学期望有所不同。

关键词 箔条云团 雷达散射截面积 矩量法

中图分类号 V243

Abstract The backscattering cross sections of three kinds of chaff clouds models are computed by the Method of Moment (MM). The results show that multi-couple has very little effect on RCS when the average spacing is larger than 2K. And the cumulative probability function of backscattering cross section with multi-couple can be expressed by an exponential distribution just like the condition without multi-couple, except for the only difference that the expectation should be modified.

Key words chaff clouds, radar cross section, method of moment

箔条干扰是消极干扰中使用最早也是最广泛的手段^[1]。箔条干扰最基本的电性能指标是箔条弹被投出后箔条在空间散开形成的箔条云团的后向雷达散射截面积(RCS)。文献[2]中推导出单根半波偶极子在空间取向完全等概率时其平均后向 RCS 为 $0.17 K^2$ 。在实战中使用的是由大量偶极子形成的箔条云团,由于存在相互耦合,只是在偶极子平均间距较大以致可以忽略耦合时总 RCS 的平均值才等于偶极子总数量乘以单根偶极子的平均 RCS。另一方面,由于风速梯度、大气扰动以及箔条弹自身的不一致性等各种随机因素,使箔条云团的形状不规则,偶极子在云团中的分布也不确定。

本文假定在某个时刻云团中的所有偶极子都静止,用矩量法严格分析了 3 种云团模型的后向 RCS: 长方体内均匀分布,球体内均匀分布、半径上的零均值正态分布而方位分布为等概率的。偶极子空间取向为完全等概率。

1 箔条云团在空间分布的 3 种模型

(1) 云团形状为长方体,箔条在其内分布为均匀分布。设长方体大小为 $l_1 \times l_2 \times l_3$,箔条分布的概率密度函数为

$$p(x, y, z) = \frac{1}{(l_1 l_2 l_3)^3} \quad (1)$$

平均间距 d 为
$$d = \frac{l_1 l_2 l_3}{N} \quad (2)$$

(2) 云团形状为球形,箔条在其内分布为均匀分布。设球半径为 R_0 , r , H U 三者互相独

立, 则 r, H, U 的边缘概率密度函数分别为

$$\begin{aligned} p_r(r) &= 3r^2/R_0^3, \quad p_H(H) = (\sin H)/2, \quad p_U(U) = 1/(2P) \\ r &\geq 0, \quad 0 \leq H \leq P, \quad 0 \leq U \leq 2P \end{aligned} \quad (3)$$

平均间距 d 为

$$d = \sqrt[3]{4P/(3N)} R_0 \quad (4)$$

(3) 云团形状为球形, 箔条在其内分布在半径方向为零均值正态分布, 在方位向为均匀分布。设半径方向分布的方差为 R , r, H, U 三者互相独立, 则 r, H, U 的边缘概率密度函数分布为

$$\begin{aligned} p_r(r) &= \frac{1}{2PR} \exp\left[-\frac{r^2}{2R^2}\right], \quad p_H(H) = (\sin H)/2, \quad p_U(U) = 1/P \\ r &\geq 0, \quad 0 \leq H \leq P, \quad 0 \leq U \leq P \end{aligned} \quad (5)$$

平均间距 d 为

$$d = \sqrt[3]{4P/(3p_0N)} R_0 \quad (6)$$

其中: R_0 为包含 p_0N 个偶极子的球的半径, 取 $p_0 = 0.8$, 则 $R_0 = 1.27R$ 。

2 计算结果与分析

取箔条云内箔条数 $N = 50$, 对每一平均距离 d 上都按指定的概率分布随机生成 500 个箔条云团进行运算。500 个云团的平均后向 RCS 随平均间距 d 的变化关系曲线如图 1 所示。显而易见球形正态分布的云团后向 RCS 比另外 2 种要小的多, 这是由于球形正态分布时大量偶极子集中在靠近球心的一小块区域, 虽然平均距离较大, 但有一部分偶极子距离很近, 耦合强烈, 使得总后向 RCS 不大。对于长方体和球形均匀分布, 相同的平均间距时后向 RCS 相差不大, 总体而言球形的比长方体的要小一些, 这是由于同样体积时球形的迎波面积比长方体小, 从而其内部互相遮挡要严重一些。从图中可见 $d > 2K$ 以后后向 RCS 就稳定下来, 这说明此时已经可以忽略互耦对箔条云团后向 RCS 的影响。对 3 种分布都有在 $d = 0.5K$ 时的后向 RCS 大约只有 $d = 2K$ 时的一半。

文献[3]假设偶极子在空间均匀取向并忽略互耦, 利用大数定理得出箔条云团的后向 RCS 的概率分布函数为指数分布

$$P(R) = 1 - \exp(-R/\bar{R}) \quad (7)$$

其中: $\bar{R} = NR = 0.17NK^2$ 即无耦合时箔条云团的后向 RCS 的平均值。对于所考虑的 3 种模型, RCS 计算值在平均间距 d/K 为 0.5 和 2 时的概率分布函数如图 2 中的圆点所示。对这些圆点用式(7)进行拟合得到图 2 中的实线, 拟合时数学期望 \bar{R} 为待拟合的参数。很明显, 拟合曲线可以良好地逼近实际计算值, 这说明即使在有耦合时, 箔条云团的后向 RCS 的概率分布函数仍然可以用式(7)描述, 只是要将式(7)中的参数 \bar{R} 进行一定的修正。由拟合得到的 RCS 均值与计算得到的均值比较见表 1, 可以看出在大部分情况下两者都很接近, 这也说明式(7)是箔条云团后向 RCS 概率分布函数的一个良好逼近。

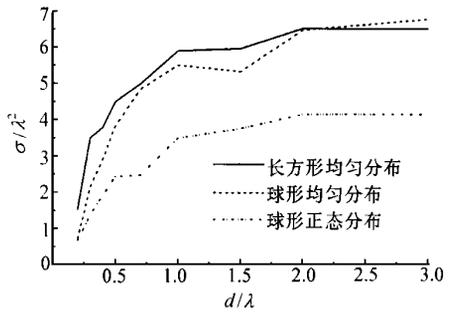


图 1 R^2 与 d/K 关系

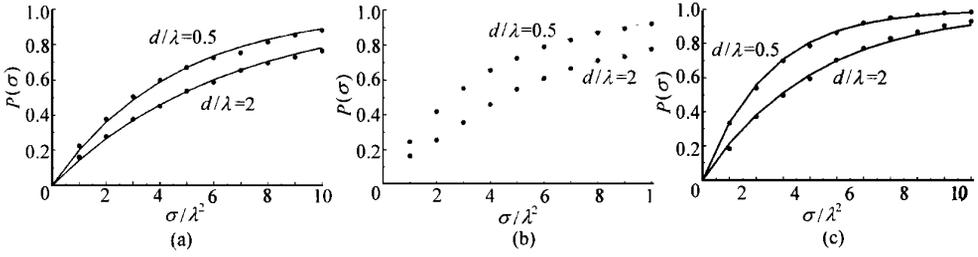


图 2 概率分布函数

(a) 长方形均匀分布; (b) 球形均匀分布; (c) 球形半径正态分布

3 结 论

应用矩量法对 3 种箔条云团的后向雷达散射截面进行了严格的计算。计算结果表明在平均间距大于 2K 后互耦对 RCS 的影响很小。对于 3 种计算模型发现 RCS 的概率分布规律与不考虑互耦时的结果一样都可以用指数分布进行良好的描述, 所不同的只是参数 R 随模型的不同而不同。对 3 种模型得到的 RCS 进行比较发现箔条在一定体积内均匀分布时的 RCS 比不均匀分布时的要大一些, 这说明在制作箔条弹时应使箔条被释放后能在尽量短的时间内达到比较均匀的空间分布。

表 1 拟合 RCS 均值与计算 RCS 均值

d/K	模型 1		模型 2		模型 3	
	拟合	计算	拟合	计算	拟合	计算
0.2	1.518	1.992	0.708	1.232	0.654	1.087
0.5	4.496	4.435	3.834	3.854	2.429	2.459
1.0	5.895	5.837	5.500	5.486	3.496	3.525
1.5	5.959	5.986	5.322	5.440	3.759	3.777
2.0	6.518	6.775	6.476	6.376	4.158	4.063
2.5	6.080	6.034	6.345	6.562	4.115	4.138
3.0	6.506	6.466	6.777	6.490	4.150	4.165

参 考 文 献

- 1 林象平. 电子对抗原理(下). 北京: 国防工业出版社, 1982. 261~278
- 2 瓦金 C A, 舒斯托夫 H. 无线电干扰和无线电技术侦察基础. 北京: 科学出版社, 1977. 244~284
- 3 Pyati V P. Statistics of electromagnetic scattering from chaff clouds. ADA013929, 1975