

有耗雷达目标的 RCS 模型测量方法¹

刘宏伟 时振林 唐 璞

(电子科技大学 成都 610054)

摘 要 本文介绍了一种在雷达目标上均匀或局部涂覆吸波材料后 RCS 模型测量的方法,并介绍了该方法的理论基础和软件设计方法。根据模型的测试数据使用该方法的软件计算出的理论结果与原型的实际测试数据相互吻合,表明该方法是可行的并且有实际应用的价值。

关键词 有耗雷达目标, 雷达散射截面 (RCS), 相似理论, 模型测量

中图分类号 TN951

1 引言

随着隐身技术的飞速发展,将隐身特性列入飞行器的战术指标,从而给出飞行器的目标 RCS 设计准则是研究隐身技术的最终目标。因此,如何确定一个目标的 RCS 就显得十分重要。而常用的三种确定目标 RCS 的方法(即理论计算、原型测量和缩比测量)中,缩比测量克服了理论计算和原型测量的不足,已经成为一种较为理想的研究手段。

根据物理相似性理论^[1],影响有耗雷达目标 RCS 值的基本参量是几何尺寸与波长之比 l/λ 和归一化表面阻抗 η_s 。如果模型与原型的 η_s 和 l/λ 处处对应相等,则它们不仅是几何相似而且是物理相似的,可以直接由几何缩比因子根据模型值推断原型值,否则的话就必须寻求新的推断方法。本文所介绍的就是当 l/λ 满足而 η_s 不满足物理相似性时,仍然可以利用相应的物理缩比因子而不是几何缩比因子从模型测量值推断出原型目标的 RCS 值的模型测量方法。

该方法首先以具有普适性的相似性理论为基础,利用电磁场理论,得到了均匀涂覆和局部涂覆雷达目标的物理缩比因子,然后,利用优化的算法进行计算软件的程序设计。经过具体的实际应用,根据模型的测试数据所获得的计算结果与实测的原型数据是相互吻合的。

2 理论基础和程序设计

根据相似性理论,无因次量是体现现象内在规律和事物本质的量;模型与原型相似应是所有的无因次量的对应相等;只要模型与原型是相似的,用无因次量所获得的结果就可推广到相似现象中去^[2]。因此,对于彼此相似的现象就存在着同样数值的集合量(称为相似准则),它既是一个恒量也是一个无因次量,表明了模型与原型之间的相互对应关系。有耗雷达目标的相似准则是模型与原型之间几何、物理、边界条件等参量的相互关系。将这些相似准则作适当的数学变换和处理,便可以得到有耗雷达目标的归一化 RCS 值应满足的准则关系式^[1]:

$$\sigma/\lambda^2 = f(l/\lambda, \eta_s). \quad (1)$$

¹ 1994-07-05 收到, 1994-12-19 定稿

八五国防预研基金资助项目

(1) 式表明, 在众多的参量中, 影响有耗雷达目标 RCS 值的基本参量只有 l/λ 和 η_s 。因此对于几何相似的模型和原型, 只要它们处处具有相同的 l/λ 和 η_s , 则称之为具有物理相似性。此时原型的 RCS 值 (σ_p) 可以根据几何缩比因子 p 由模型 (σ_m) 给出:

$$\sigma_p = p^2 \sigma_m. \quad (2)$$

但是在实际应用中, l/λ 和 η_s 常常分别或同时不能满足物理相似性, 此时原型的 RCS 值必须根据物理缩比因子 q 给出^[3]:

$$\sigma_p = q^2 \sigma_m. \quad (3)$$

在 l/λ 满足物理相似性, 只是 η_s 不满足的情况下, 物理缩比因子 q 可以根据电磁场理论得到。对于目标均匀涂覆有耗材料时 (表示为归一化表面阻抗 η_s)^[4]

$$q^2 = p^2 \left| \left(\frac{\eta_{sp} - 1}{\eta_{sp} + 1} \right) / \left(\frac{\eta_{sm} - 1}{\eta_{sm} + 1} \right) \right|^n; \quad (4)$$

而当目标局部涂覆有耗材料时则有^[5]

$$q^2 = p^2 \left| \frac{c + (e^{j\phi} - c) \left(\frac{\eta_{sp} - 1}{\eta_{sp} + 1} \right)^{n/2}}{c + (e^{j\phi} - c) \left(\frac{\eta_{sm} - 1}{\eta_{sm} + 1} \right)^{n/2}} \right|^2. \quad (5)$$

上两式中 η_{sm} 为模型上涂覆的有耗材料的归一化表面阻抗, η_{sp} 为原型上涂覆材料的归一化表面阻抗。(4) 式和 (5) 式中的 n 是一个与雷达目标的外形、尺寸、电磁波入射和极化方向有关的参量。而 (5) 式中的 c 是雷达目标局部涂覆时未涂部分的 RCS 值 (σ_1) 与整个目标未涂时的 RCS 值 (σ_0) 之比 $c = \sqrt{\sigma_1/\sigma_0}$, ϕ 是 σ_1 与 σ_0 之间的相位差, 都是与 η_s 无关的参量, 可事先用一种或三种不同的吸波材料 (其表面阻抗为 η_{si} , $i = 1, 2, 3$) 均匀地或局部涂覆在待测目标模型的同一位置, 测出一个或三个相应的 RCS 值 σ_i ($i = 1, 2, 3$) 后, 根据 (4) 或 (5) 式定出 n 或 c , ϕ 和 n , 然后再将待求原型的 η_{sp} 代入 (4) 或 (5) 式求出 q 后由 (3) 式便可计算出目标原型的 RCS 值。

为了克服直接求解 (5) 式这一超越方程的困难, 我们选用了最优化技术求最佳解的计算方法, 即选择优化目标函数为

$$f = (t_1 - t)^2 + (t_2 - t)^2 + \dots = \sum (t_i - t)^2, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

然后采用单纯形法对上式进行无约束寻优, 从而找出最佳的解 t , 其中的 t_i 是一组测量值。

3 结果和结论

为了验证该方法的正确性, 我们选择了有限尺寸的金属圆柱作为目标, 对均匀涂覆和局部涂覆两种情况进行了模型和原型的实验。对于前者, 模型均匀涂覆 $\eta_s = 0.207 + j0.350$

的吸波材料。对于后者，模型用尺寸、形状相同但具有不同特性的三种材料（ η_s 分别为 $0.207 + j0.350$ ， $0.188 + j0.328$ ， $0.326 + j0.223$ ）局部涂覆在圆柱中部同一位置。两种情况由模型测量值推算原型（涂覆 $\eta_s = 0.188 + j0.328$ 的材料）的计算结果（实线）和原型的实测结果（虚线）分别示于图 1 和图 2 中。显然，计算结果与实测曲线是相互吻合的。

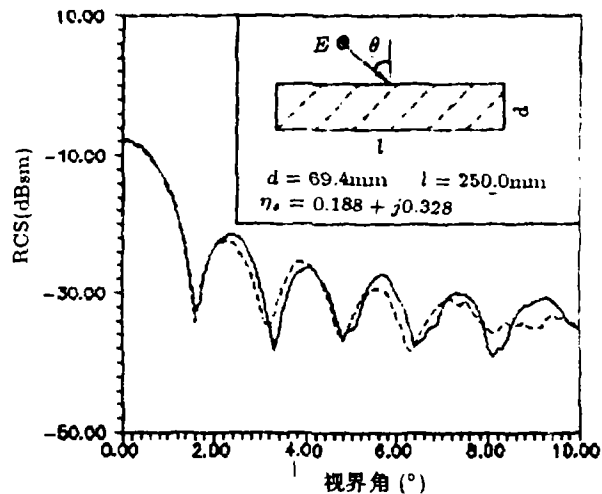


图 1 均匀涂覆圆柱 RCS 曲线

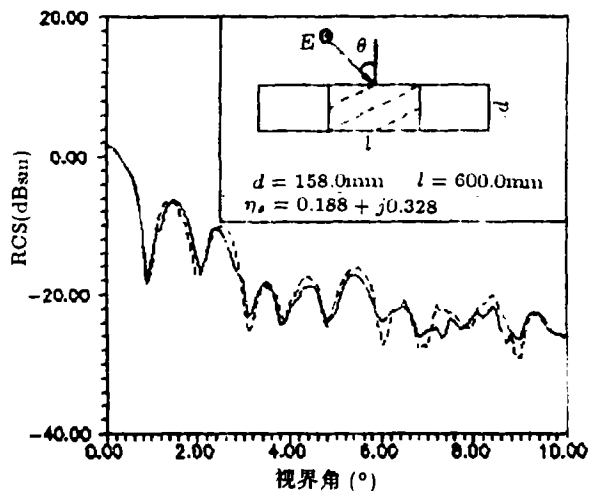


图 2 局部涂覆圆柱 RCS 曲线

应当指出：(1) 利用本文介绍的方法推断原型目标 RCS 理论值的误差取决于模型测试的误差。(2) 本方法的理论根据 (4) 和 (5) 式对目标的形状没有限制，因此，理论上适用于任何形状的目标体（包括复杂目标），只要用于测试的模型与待计算的目标原型之间满足几何相似条件即可。(3) 除了计算有耗目标的 RCS 理论值之外，本文介绍的软件程序还可以用来确定局部涂覆在目标上的吸波材料之特性参数，使得该有耗目标的 RCS 值为最小，从而为飞行器的隐身特性设计提供了参考依据。

参 考 文 献

- [1] Shi Zhendong, Ding Chunsheng, Chen Jiayi. Chinese Phys. Lett., 1993, 10(6):347-350.
- [2] 时振东, 杨仕文, 丁春生. 应用科学学报, 1993, 11(2): 109-114.
- [3] Shi Zhendong, Microwave Opt. Technol. Lett., 1992, 5(7): 325-326.
- [4] Shi Zhendong, Ding Chunsheng. Microwave Opt. Technol. Lett., 1992, 5(6): 257-259.
- [5] Shi Zhendong, Ding Chunsheng, Jia Yi, Microwave Opt. Technol. Lett., 1993, 6(2): 109-111.

MODEL TESTING METHOD OF RCS FOR
LOSSY RADAR TARGETS

Liu Hongwei Shi Zhendong Tang Pu

(University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract A RCS model testing method for lossy radar targets fully or partially coated by absorbent materials is presented with its basal theory and programming technique. It is shown that this method is usable and practicable because the computed result by model testing agrees well with the measured data.

Key words Lossy radar targets, RCS, Similarity theorem, Model testing

刘宏伟: 男, 1960年生, 副教授, 电磁场工程与微波技术.

时振东: 男, 1938年生, 教授, 电磁场工程与微波技术.

唐璞: 男, 1963年生, 讲师, 电磁场工程与微波技术.