

复杂目标散射均值预估方法

向前¹, 方重华², 熊波², 刘义²

(1. 海军驻武汉七〇一所军事代表室, 武汉 430064;
2. 电磁兼容性重点实验室 中国舰船研究设计中心, 武汉 430064)

摘要: **目的** 对小于传统远场距离条件下目标散射特性均值进行测量。**方法** 通过MLFMM软件仿真手段, 给出舰船模型在自由空间的近场散射仿真与分析结果, 包括随入射频率和探测距离的变化曲线。**结果** 随着探测距离的缩减, 舰船目标的近场散射与远场散射的差别较大, 但二者的均值却较为一致。基于此, 提出基于成像理论的定量预估均值方法, 通过近场散射特性评估, 所获得的结果与远场条件下的均值结果基本一致。**结论** 仿真结果验证了该方法的准确性, 提出的分析方法可为大型目标散射特性测量提供解决途径。

关键词: 近场散射; MLFMM; 均值预估方法

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.01.007

中图分类号: TJ83; TS206 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)01-0031-03

Estimation Method of Scattering Mean Value for Complex Target

XIANG Qian¹, FANG Chong-hua², XIONG Bo², LIU Yi²

(1. Navel Deputy of 701 Institute, Wuhan 430064, China;
2. The National Key Laboratory of EMC, China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

ABSTRACT: **Objective** To measure the mean value of target scattering characteristics in the distance of far field. **Methods** By MLFMM software simulation tools, the simulation and analysis results of near-field scattering for ship model in free space were given, including the variation curves of incident frequency and detection distance. **Results** The results showed that the difference between near-field and far-field scattering of the ship target became larger with the reduced detection range, but the mean values were relatively consistent. Based on this result, the quantitative mean value estimation method based on imaging theory was proposed. Through the evaluation of near-field scattering characteristics, the mean value could be obtained, which was basically consistent with the mean value in far field. **Conclusion** The simulation results verified the accuracy of the method. The proposed analytical method could provide solutions for scattering characteristic measurement of large targets.

KEY WORDS: near-field scattering; MLFMM; mean value estimation method

收稿日期: 2014-09-04; 修订日期: 2014-09-23

Received: 2014-09-04; Revised: 2014-09-23

作者简介: 向前(1978—), 男, 土家族, 湖北恩施人, 博士, 工程师, 主要研究方向为舰艇总体电磁兼容、舰艇导航。

Biography: XIANG Qian (1978—), Male, Tujia, from Enshi, Hubei, Ph.D., Engineer, Research focus: overall electromagnetic compatibility of warship and naval navigation.

自从雷达问世以来,复杂目标(尤其是舰船目标)的雷达散射特性一直是研究的热点。多年来,这一领域的研究重点是远场分析:假设入射波为平面波,计算其散射远场,评估其雷达散射截面(RCS)。

许多研究中因雷达与目标的间距不够远,无法将入射波近似为平面波。此时,远场散射分析条件无法满足,使用近场散射分析方法则更为有效。因此,在一定条件下,开展目标近场散射特性研究更为重要,例如舰船目标,大多数情况下都处于探测的近场区。

有关近场散射研究的文献资料较少,主要有 DEMACO 开发的 NcPTD 和 Cpatch 代码可以处理近场散射^[1]。Shyh-Kang Jeng 基于 PTD 和 SBR 也开展了近场散射研究^[2],但这些研究主要基于高频方法而非数值方法。由于数值分析方法 MLFMM 的预测精度高于高频方法,较高的精度能够确保特性分析的有效性,且文献资料中尚未见基于 MLFMM 的舰船目标近场散射分析研究。此外,有关远场距离条件的讨论一直存在。其中, Kouyoumjian and Peters 在 1965 年就对这一表达式的关键参数进行过探讨, E. F. Knott and T. B. A. Senior 在 1974 年也曾经对某些典型二维目标的远场距离条件开展研究。在 1999 年, Rajeev Bansal 在其论文中综述了远场距离条件的多种表现形式,然而文献中可见的研究工作主要针对峰值而非均值。

文中基于 MLFMM 方法给出了某舰船模型的近场散射结果,及其随探测距离、频率和方位角的变化曲线。此外,还对不同探测距离条件下舰船散射均值进行比较,并提出针对散射特性均值结果的定量预估均值分析方法。

1 散射特性分析方法

以某简化舰船模型在自由空间条件下的近场散射问题为例,如图 1 所示。使用 MLFMM 方法^[3]对舰船的电磁散射场进行计算,将舰船表面分解为 N 个三角形面元,从而使每个面元都处于自身的远场区,由电场积分方程对散射场进行求解:

$$\hat{i} \int_s [\bar{J}(r') + \frac{1}{k^2} \nabla \cdot \bar{J}(r') \nabla] \frac{e^{jkR}}{R} ds' = \frac{4\pi j}{k\eta} \hat{i} \cdot \bar{E}^i(r') \quad (1)$$

式中: $\bar{J}$ 为表面电流; $\hat{i}$ 为理想导电平面(PEC 表

面)的单位切向矢量; $\bar{E}^i$ 为入射电场矢量; η 为自由空间的波阻抗; k 为自由空间波数。

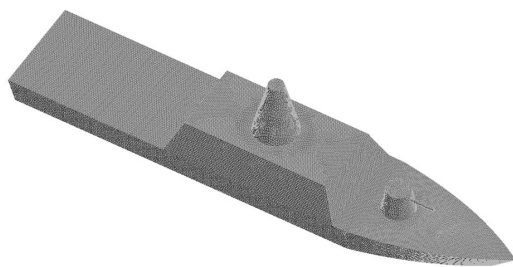


图 1 某简化舰船模型(34 m × 7 m × 8 m)

Fig.1 The simplified ship model (length 34 m × width 7 m × height 8 m)

传统的远场散射(即 RCS)表达式为:

$$\sigma_{\text{FAR}} = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|\bar{E}^s|^2}{|\bar{E}^i|^2} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|\bar{H}^s|^2}{|\bar{H}^i|^2} \quad (2)$$

远场 RCS 参量预测需保证入射到舰船表面的波前为平面波。在近场区,则需采用球面波前来近似考虑天线的方向性影响,假设天线是各向同性的,则近场散射表达式为:

$$\sigma_{\text{NEAR}} = 4\pi r^2 \frac{|\bar{E}^s|^2}{|\bar{E}^i|^2} = 4\pi r^2 \frac{|\bar{H}^s|^2}{|\bar{H}^i|^2} \quad (3)$$

2 计算结果与分析

自由空间中典型简化舰船的 near 场和远场散射特性的差值曲线如图 2 所示。计算工况:俯仰角为 90°;方位角在 0° ~ 180° 范围内变化;频率分别为 200, 300, 400 MHz 时,不同探测距离条件下的单站 RCS 近、远场差值曲线。

从图 2 中可见,差值曲线随方位角的变化不断起伏,船侧对应的方位角 90° 处散射曲线差异最大;不同距离对比可见,随着近场探测距离的增大,近远场散射之间的差异逐步减小。

为便于比较舰船散射场的均值,采用以下舰船常用的均值统计方法:去掉 0°, 90°, 180°, 270° 等几个特征方向 ± 4.5° 内的结果,将其余数据由 dBsm 转化为 m²,再进行算术平均值计算。

图 3 给出了图 1 中舰船模型在不同探测距离下的散射均值。可以看出,在 1 dB 的误差容差范围内,较近的探测距离下(例如 500 m,即为 1/4 远场距离),散射均值与远场距离下基本一致。因此,对于舰船类复杂目标,RCS 试验时探测天线与舰船目标的间

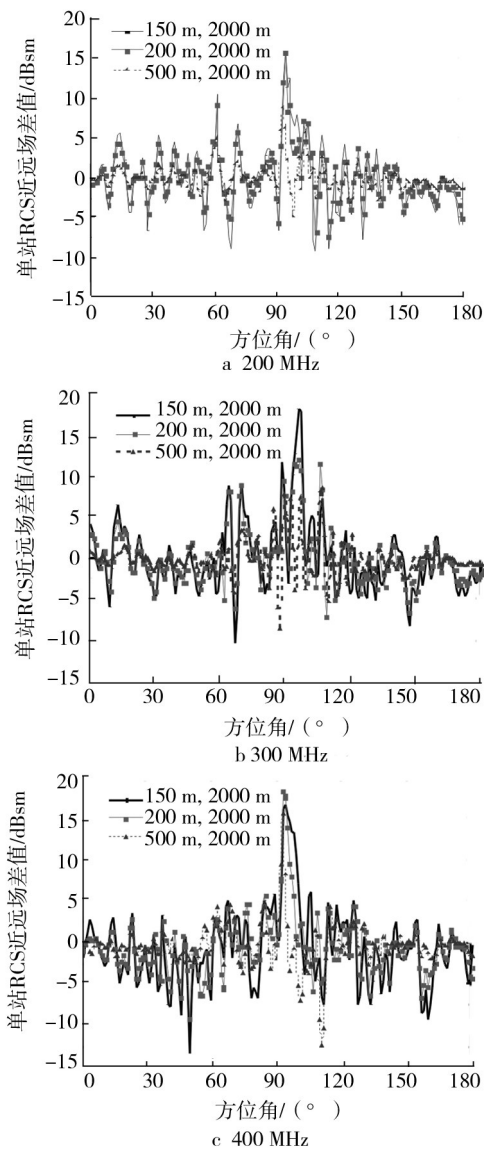


图2 近远场RCS差值曲线对比

Fig.2 Comparison of the near- and far-field RCS difference curves

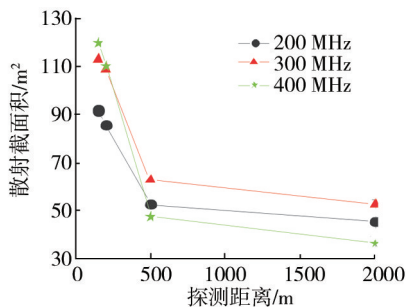


图3 不同频率和探测距离下的典型均值结果

Fig.3 The typical mean values at different frequency and detection distance

距在一定程度上可以远小于传统的远场距离。

根据分析获得散射均值随距离的变化特点,提出

基于成像理论的定量预估均值方法,通过近场散射特性评估,来获得与远场条件下基本一致的均值结果。

由于复杂目标的散射可视为多个散射中心贡献的叠加。实际上,散射中心才是目标散射贡献的主要来源。因此,可以将最大散射中心间距与目标的有效尺寸(非物理尺寸)相关联。在此,首先对满足远场条件的均值定义如下:其均值结果与传统远场距离下均值相差在3 dB以内。

目标的有效尺寸设为 D' ,预估均值对应的远场距离设为 R' 。利用一维距离像技术描述目标一维散射中心分布,并以此进行定量预估,步骤如下:获取目标在给定频率的一维距离像,如图4所示;找出散射中心的最大间距 D' , D' 也即目标的有效尺寸;将 D' 代入表达式 $R' \geq 2D'^2/\lambda$ 。

为了验证提出的定量预估均值方法准确性,使用MLFMM软件对图1的舰船模型进行了一维距离像和近场散射仿真,其结果如图4和5所示。从图5

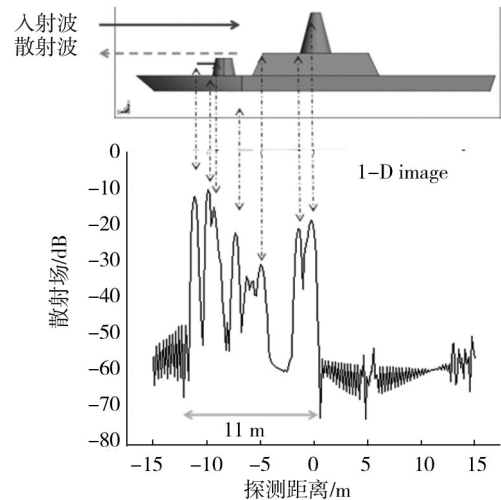


图4 自由空间中舰船模型的一维距离像(入射方向为舰艏)

Fig.4 The one-dimensional image of ship model in free space (the bow is in the incident direction)

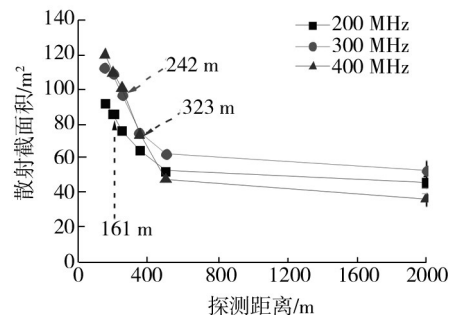
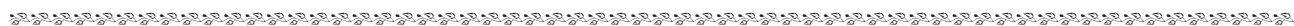


图5 不同探测距离下的典型均值结果

Fig.5 The typical mean values at different detection distance

(下转第72页)

- MAO Ya-bin, FAN Yu-qiang. The Domestic International Intellectual Property Rules Overview[J]. Special Report, 2007(4):48—49.
- [44] 刘春霖,赵慕洁. 论知识产权滥用的法律规制体系[J]. 产业与科技论坛, 2008, 7(2):113—114.
- LIU Chun-lin, Zhao Mu-jie. Abuse of Intellectual Property Legal System[J]. Industry and Technology Forum, 2008, 7(2):113—114.
- [45] 丛文胜. 完善国防知识产权法规体系建设是提高国防实力的重要保障[J]. 国防和军队建设战略问题研究, 2011(1):113—114.
- CONG Wen-sheng. We Will Improve the National Defense Intellectual Property Laws and Regulations System Construction Is the Important Guarantee to Improve National Defense Strength[J]. National Defense and Army Building Strategic Problem Research, 2011(1):113—114.
- [46] 张明龙,张琼妮. 完善知识产权保护制度的对策研究[J]. 经济纵横, 2009(12):43—46.
- ZHANG Ming-long, ZHANG Qiong-ni. Research on Countermeasures to Improve the Protection System of Intellectual Property Rights[J]. Economic Aspect, 2009(12):43—46.
- [47] 余晖. 知识产权法律冲突及其价值因素[J]. 合作经济与科技, 2009(1):124—125.
- YU Hui. The Conflict of Intellectual Property and The value of The Factors[J]. The Cooperation of Economy and Technology, 2009(1):124—125.
- [48] 盛亚,孔莎莎,孙津. 知识产权政策以及法规中利益相关者权利分析[J]. 浙江树人大学学报, 2012, 12(1):27—30.
- SHENG Ya, KONG Sa-sa, SUN Jin. Analysis of Intellectual Property Policy and Regulations of Stakeholders's Rights[J]. Journal of Zhejiang Shuren University, 2012, 12(1):27—30.
- [49] 权彦敏. 知识产权作为执行标的之法治现况与对策[J]. 甘肃社会科学, 2011(5):190—192.
- QUAN Yan-min. Intellectual Property Rights as the Status of Implementation of the Subject of The Regulations and Countermeasure[J]. Gansu Social Sciences, 2011(5):190—192.



(上接第33页)

中可以发现,散射中心的最大间距 D' 约为11 m。根据提出的均值定量预估方法,对应的 R' 及其近场散射结果如图5所示。其表明了探测距离对应有效尺寸 D' 的均值散射结果接近于远场的散射结果,且在计算的各频点二者相差小于3 dB。验证了一定偏差范围内,均值预估方法可大幅缩减大型目标散射特性测量距离。

3 结论

文中利用MLFMM软件仿真手段,对舰船模型在自由空间的近、远场散射特性进行了仿真分析。结果表明,一定距离下的近场散射与远场散射均值较为一致。由此提出基于成像理论的定量预估均值方法,通过一维距离像技术得到目标的有效尺寸,进而换算均值预估距离,该探测距离下获得的散射均值与传统远场散射均值误差在3 dB以内。最后,通过仿真结果验证了该方法的准确性。提出的分析方法可为大型目标散射特性测量提供解决途径,即在远

小于传统远场距离条件下可对目标散射特性均值进行测量。

参考文献:

- [1] LEE S W, WANG H T G. Near-field RCS Computation[M]. Appendix in the Manual for NcPTD, 1991.
- [2] JENG S K. Near-field Scattering by Physical Theory of Diffraction and Shooting and Bouncing Rays[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagation, 1998(4):231—234.
- [3] EOU R G, PETERS L. Range Requirements in Radar Cross-section Measurements[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagation, 1965:920—928.
- [4] KNOTE F T, Senior T B A. How Far is Far[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagation, 1974:732—734.
- [5] RAJEEV B. The Far Field: How Far is Far Enough[J]. Applied Microwave & Wireless, 1999:58—60.
- [6] COIFMAN R, ROKHLIN V, WANDZURA S. The Fast Multi-pole Method for the Wave Equation: A Pedestrian Prescription[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagation, 1993:7—12.