

海上舰船在平面波照射下的半空间散射研究

徐 乐, 谢拥军, 史小卫

(天线与微波技术国家重点实验室, 西安电子科技大学, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文研究了海面舰艇在平面波照射下的散射特性. 为在该类问题中有效计入海面背景的影响, 舍弃了以往文献中采用自由空间格林函数为内核求解的模型, 而是利用介质半空间格林函数在海面建立电场积分方程, 并采用 GFB(广义前向后向法) 算法结合 MOM(矩量法) 计算了海面以及海面舰船的感应电流分布以及双站雷达散射截面, 对入射波角度、海面粗糙度、以及有船无船对海面电流分布及双站雷达散射截面的影响进行了讨论.

关键词: 半空间格林函数; GFB; 粗糙面与舰船; 散射

中图分类号: TN011 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2006)12-2322-04

The Scattering from Ships on Ocean like Rough Surface Excited by a Plane Wave in Half Space Model

XU Le, XIE Yong-jun, SHI Xiaowei

(National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: The half space green's function is utilized to compute the scattering from ships on sea surface lighted by radar wave. The integral function is solved by Method of Moment (MoM) together with GFB algorithm. The surface current and bistatic RCS are computed as a function of the incidence angle, frequency and surface roughness and compared with the results in free space.

Key words: half space Green function; GFB; rough surface and ships; scattering

1 引言

近些年来, 对诸如海面等粗糙面的电磁散射特性的研究已经备受人们关注, 尤其是在低掠射角(Low grazing Angle)入射条件下海面目标的建模和分析进行了广泛的讨论. W T Shaw 和 A J Dougan 提出可以结合相应的海域模型以及边界条件来研究海面散射, 在他们提出的分类中, 可以将海面散射的研究分为七个层次, 最终希望达到对海面散射的精确分析^[1].

在海面等粗糙面散射问题上传统的矩量法对于低掠射角入射时海面散射问题的研究已经乏力, 因为此时需要虑及较长的海面, 在海面剖分时就会产生大量的未知单元 N , 造成庞大的计算量 $O(N^3)$, 另外, 考虑到低掠射角入射条件下的多次散射、遮蔽效应以及绕射的问题时, 传统的解析方法也很难准确建模并进行理论分析, 因而寻找更为有效的数值解法是很必要的.

近期的一些相关研究主要集中在基于矩量法采用迭代求解的数值解法, 它们可提供足够高的求解精度和足够快的求解速度. 在这些方法中有将场/表面电流分解为近场和非近场分量进行求解的带限矩阵迭代/标准网格法(BMIA/CG)^[2]; 另外, 还有基于多网格分解和广义共轭残余法(GCR)的更为广

义的迭代方法^[3], 该方法不及带限矩阵迭代法有效, 但比直接求解快很多, 而且它的突出优势是可以节省大量的计算所需内存.

Holliday 等人提出 FB(前向后向法)^[4,5] 求解海面电流, 为将其推广至法向入射的情况, Kapp 和 Brown 提出了类似的有序多次作用迭代法(MOMI)^[6]. 然而, 前向后向法仅对平滑变化的表面具有很快的收敛速度, 为了将其应用到诸如粗糙面上的任意障碍物的电磁散射的计算, Marcos Rodriguez Pino 提出了广义前向后向法(GFB)^[7], 该方法克服了前向后向法对复杂粗糙面问题不收敛的缺陷, 它的计算量是 $O(N^2)$, 可以用来求解很大的计算区域.

在国内也有不少专家学者采用 GFB 方法分析海面目标散射^[8], 但采用的是锥形波入射进行分析, 考虑到雷达波远区的特性, 本文针对平面波入射进行了相应的分析.

对于海上复杂目标的电磁散射计算, 在以往的文献中, 海面上积分方程的建立使用的是自由空间格林函数^[2-7]; 但考虑到海面目标散射的海水背景以及数值方法求解区域的有限性, 为了在海上舰船的散射中充分计入整个海域对入射雷达波散射的影响, 本文在半空间中对海面舰船的散射进行数值模拟, 因而在建立积分方程时使用了半空间格林函数; 同时,

矩量法的结果作为参考,可以看出,在舰船区域,介质半空间模型的模拟结果与矩量法结果有着良好的吻合程度,为了更明确地看出两种模型模拟结果的差别,图3同时给出了它们与矩量法结果的相对误差对比,通过相对误差的对比可以看出,半空间模型模拟结果与矩量法结果的相对误差在 10^{-2} 数量级,远远小于自由空间模型模拟结果与矩量法结果的相对误差.通过这样的数值验例可以看出,采用介质半空间模型来模拟海面散射问题比自由空间模型更为合理和有效.

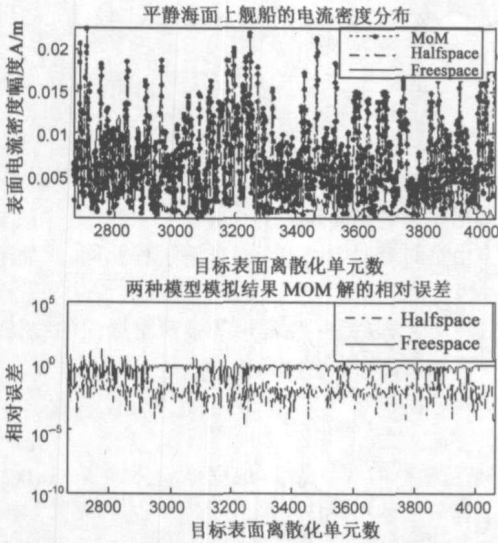


图3 两种模型中平静海面上舰船电流分布对比

其次,作为一种高效迭代解法,GFB已成功运用于海面散射问题的研究.为验证该方法在介质半空间模型中的有效性,图4给出了采用GFB方法和直接采用传统MOM方法在介质半空间模型中对粗糙海面上舰船散射问题的模拟结果.可以看出,GFB方法在介质半空间模型中同样具有很高的求解精度,与矩量法求解结果的相对误差在 10^{-4} 数量级以下,同时,由于GFB方法采用了迭代求解,在10步以内即可收敛,因而求解速度比矩量法得以大幅提高.由此可见,GFB方法可以用来分析介质半空间模型中的海面散射问题.

接着,本文对比了任意粗糙海面上舰船在自由空间和介

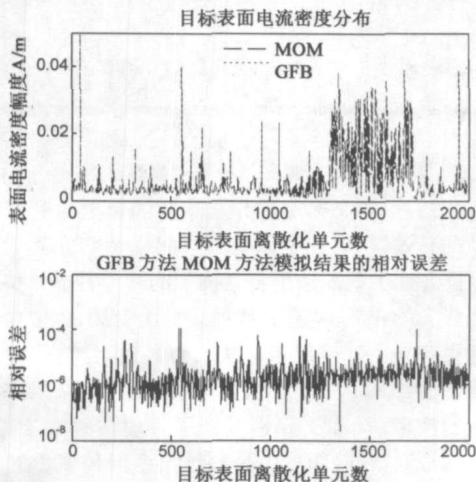


图4 介质半空间模型中GFB方法和MOM方法的对比

质半空间的散射特性,图5表现出了粗糙海面上舰船及临近海面的电流分布及双站雷达散射截面,当在介质半空间来考虑海面复杂目标的散射问题时,由于考虑了整个海域的反射作用,导致目标区域各单元的相互作用增强,目标表面电流有所增大,同时,通过双站雷达散射截面对比可以看出散射目标的向后散射小角度内有所增加,前向散射更加尖锐,在法向方向的雷达散射截面增大很多,海面的漫散射作用得以加强.

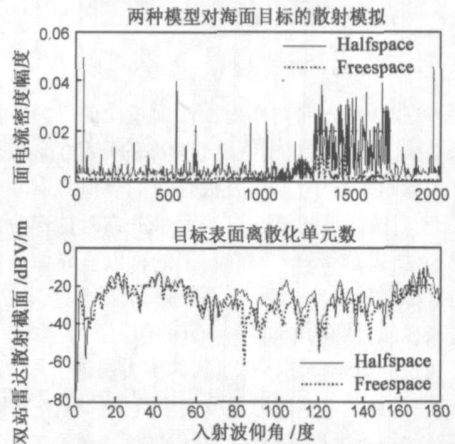


图5 两种模型中粗糙海面散射目标散射特性的对比

此外,本文研究了海面粗糙度对散射特性的影响,四种粗糙面的参数如表1所列:

	$lc(\lambda)$	$h(\lambda)$
Surface 1	0.1	0.1
Surface 2	0.3	0.1
Surface 3	0.6	0.1
Surface 4	0.9	0.1

如图6示,当海面无船时,后向散射明显小于前向散射,且在 170° 附近达到最大,体现了海面的镜面反射特性,随着海面粗糙度的增加,散射目标雷达散射截面变化表现的越来越平缓,在 40° 和 170° 附近出现的尖峰逐渐消失;同时可以看出其变化在后向散射上尤为明显,其后向散射有一定程度的增加,这是因为海面越粗糙,会有越多的能量反射回来,而前向散射受此影响有所下降.

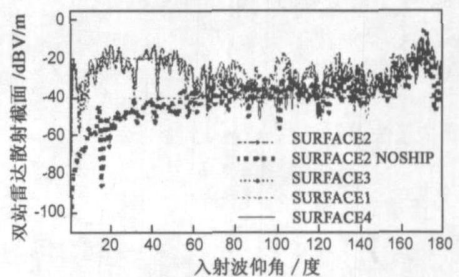


图6 海面散射目标双站雷达散射截面随海面粗糙度的变化

同时,本文比较了入射平面波从不同角度入射时散射目标的双站雷达散射截面,如图7所示,由于舰船外壳和海面形成的反射器的作用,后向散射的尖峰随入射角的增加逐渐远离掠射角度而向较大仰角区域欲动,并且在法向角度附近有所增加,而前向散射的尖峰随着入射角的增加也在向小角度移动,这与海面的镜面反射特性是相对应的.

最后,本文模拟了不同频率的平面波入射时海上目标的表面电流及雷达散射截面,图8可以看出,随着频率的升高,

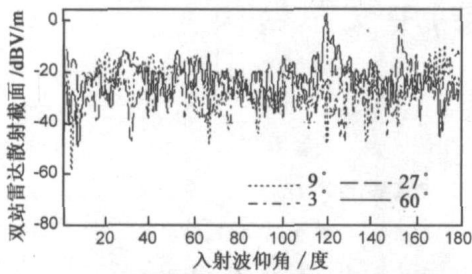


图 7 海面散射目标双站雷达散射截面随入射波角度的变化

海面模型的双站雷达散射截面随角度的变化更加敏锐, 后向散射变化相对于前向散射的变化较大, 在 20° 和 40° 附近出现尖峰, 但整体分布特性变化不大, 在 170° 附近始终存在较大的反射尖峰。

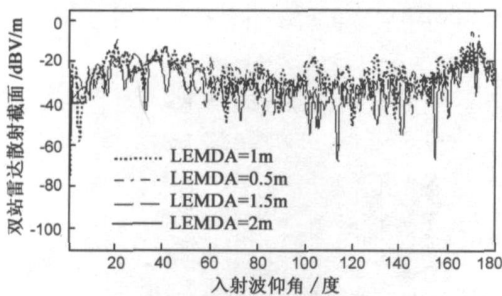


图 8 海面散射目标双站雷达散射截面随入射波频率的变化

5 结论

本文对海面散射问题引入介质半空间格林函数建立新的海面散射模型, 并通过矩量法结合 GFB 法求解目标散射特性。数值模拟了水平极化平面波入射时散射目标面电流分布及其双站雷达散射截面特性。本文研究的目的在于为平面波入射时海面散射问题提供更为严谨的分析模型, 并得到有舰船在粗糙海面上的一些散射特性。数值模拟的结果表明: 采用介质半空间模型分析所得散射特性更接近于无限大海域上舰船的散射特性, 相应于自由空间模型, 雷达散射截面在部分后向角度散射会有所下降而前向散射普遍增强; 随着粗糙度的增大海面的双站散射特性在法向附近变化最大; 受海面镜面散射特性的影响, 散射截面的尖峰随入射角的增大而向法向方向移动, 而受粗糙海面的漫射影响, 海面模型的后向散射在小角度的增加也很明显; 随着入射波频率的增加, 雷达散射截面的角度特性越来越细腻, 随入射波仰角的变化更为敏锐。目前, 由于缺乏实际的测量数据, 本文提出的介质半空间模型是通过构建平静海面目标散射的数值试验而得以验证, 与矩量法解的良好吻合程度验证了该模型的有效性, 但进一步的验证将有待于实际海面目标的雷达散射测量试验。

参考文献:

- [1] W T Shaw, A J ougan. Green's function refinement as an approach to radar backscatter: general theory and applications to LGA scattering from the ocean[J]. IEEE Trans Antennas Propag

agat, 1998, 46(1): 57- 66.

- [2] L Tsang, C H Chang, H Sangani. A banded matrix iterative approach to monte carlo simulations of scattering of waves by large scale random rough surface problems: tm case[J]. Electron Lett, 1993, 29(1): 166- 167.
- [3] D J Donnhue, H C Ku, D R Thompson. Application of iterative moment method solutions to ocean surfaces radar scattering[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1998, 46(1): 121- 132.
- [4] D Holliday, L L DeRaad, G J St Cyr. Volterra approximation for low grazing angle shadowing oecarr like surfaces[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1995, 43(11): 1199- 1206.
- [5] D Holliday, L L DeRaad, G J St Cyr. Forward backward: a new method for computing low grazing angle scattering[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1996, 44(5): 722- 729.
- [6] D A Kapp, G S Brown. A new numerical method for rough surface scattering calculations[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1996, 44(5): 711- 721.
- [7] M R Pino, L Landesa, J L Rodriguez, et al. The generalized forward backward method for analyzing the scattering from targets on oecarr like rough surfaces[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1999, 47(6): 961- 969.
- [8] Li Zhongxing, Jin Yaqiu. Numerical simulation of bistatic scattering from rough sea surface with a ship presence at low grazing angle incidence[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(6): 232- 240.
- [9] C F Yang, T- S Wang. A moment method solution for tmz and tez waves illuminating two dimensional objects above a lossy half space[J]. IEEE Trans E M C, 1996, 38(8): 433- 440.

作者简介:



徐 乐 男, 1979 年 10 月生于陕西省汉中市, 助教, 博士研究生, 主要从事电磁散射及计算电磁学等方面的研究。

E-mail: lexu@mail.xidian.edu.cn



谢拥军 男, 1969 年 5 月生于陕西省西安市, 教授, 博士生导师, 主要从事计算电磁学、微波通信、电磁兼容及天线工程等领域的研究。

史小卫 男, 1963 年 9 月生于广东省汕头市, 教授, 博士生导师, 多年来从事电磁场与微波技术以及无线电物理专业的教学和科研工作, 主要研究方向: 智能天线、射频识别及计算电磁学。