

二维分形海面雷达后向散射截面

谢 涛^{1,2}, 何宜军², 陈文俊¹, 黎滨洪¹

(1. 上海交通大学电子工程系, 上海 200030; 2. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071)

摘 要: 本文中通过坐标变换, 在局部坐标系中, 建立起了散射场与入射场之间的关系表达式, 推导出二维分形海面散射矩阵, 利用此结果数值模拟二维分形海面的全极化后向雷达截面不同入射角的分布, 并数值模拟了不同风向时, 后向散射雷达截面的变化. 发现四种极化方式下的雷达后向散射截面随入射角和风向分布图形完全相同, 仅在数值上相差常数.

关键词: 分形; 海面模型; 极化; 散射矩阵

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 03-0423-04

Back Scattering RCS of Two-Dimensional Sea Fractal Surface

XIE Tao^{1,2}, HE Yijun², CHEN Wenjun¹, LI Bin hong¹

(1. Dept. of Electronic Eng., Shanghai Jiaotong Univ. Shanghai 200030, China;

2. Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: We establish the relation expression between scattering fields and illuminating fields in local coordinate system. Simulating horizontally polarized and vertically polarized incident waves, we can get all elements of scattering matrix. The result can be used to numerically simulate the distribution of the fully polarized backscattering RCS (Radar Cross Section) of sea fractal surface. The changing of fully polarized backscattering RCS with different directions of flying direction are simulated. The result shows that the distributions of the fully polarized backscattering RCS of different of flying direction are identical among the four sorts of polarization. Our model is the base of fully polarizing radar imaging.

Key words: fractal; sea surface; polarization; scattering matrix

1 引言

尽管利用单极化入射波以及固定极化的收发天线可以简化分析和计算, 但这样测得的散射场和散射系数等参数是指定的收发极化, 本来为矢量的散射场仅用一标量来测量, 损失了其他信息, 而我们的结果^[1]给出了散射场的矢量形式, 保证了所有极化信息被保留, 为多极化 SAR 的研究提供了理论依据. 给定散射体的极化信号可以通过测量它的全散射矩阵来计算. Sinclair^[2]和 Kennenough^[3]将散射矩阵测量分别应用于天线理论和雷达遥感领域. Van zyl J J 等^[4]证明了通过极化测量获得的那些传统测量中丢失的信息与主要散射机理更加关联. 目前, 多波段、多极化 SAR 成像成为学者们的研究热点^[4], 为了模拟二维分形海面的全极化散射场、散射系数以及雷达散射截面 (RCS), 本文中我们将散射矩阵测量应用于文[5, 6]中的分形海面模型, 导出的椭圆极化波照射有限电导率的二维分形海面的散射模型, 包含任意极化入射波以及任意天线极化接收, 这样以保证可以测得所有重要的海面信息.

在文[1]中, 我们已经求解出笛卡儿坐标下, 椭圆极化波

照射有限电导率的二维分形海面的散射场, 本文第二部分通过坐标变换, 在局部坐标系中建立起散射场与入射场之间的关系表达式, 通过模拟水平和垂直极化入射波, 我们求解出了散射矩阵的所有元素. 虽然推导出极化散射系数, 但数值结果表明任何位置接收信号中去极化散射系数均为零. 因此我们建立的散射模型包含的是(VV, HH, VH, HV)全极化后向散射矩阵. 在第三部分, 我们利用此模型数值模拟了二维分形海面的全极化后向雷达截面不同方位的分布, 并研究了不同平台运动方向的后向雷达散射截面的变化.

2 散射矩阵

我们使用与文[5, 6]相同的二维分形海面模型, 详细描述见文[7, 8]. 图1为参考海面笛卡儿坐标系, 入射电磁波为椭圆极化波. 忽略阴影效应和多次散射, 观察点离海面足够远以致于能将散射波看成是平面波. 海面上任意一点的场可以看作入射场与散射场之和, 采用克希霍夫近似, R_h 和 R_v 分别是散射点切平面上的水平和垂直入射时的反射系数.

利用惠更斯原理、克希霍夫近似^[9]以及由 F Berizzi 等

提出的忽略阴影效应和多径散射情况下的分形海面模型. 我们在笛卡儿坐标系中已经导出被任意极化波照射的有限电导率二维分形海面的散射场表达式^[1]. 这里我们直接引用文献^[1]的结果. 图 2 为海面被研究点的局部坐标系.

入射场、散射场的局部正交坐标系(图 2)分别为 (h_i, v_i, k_i) 和 (h_s, v_s, k_s) , 它们与笛卡儿坐标系的关系为:

$$\begin{cases} k_i = \sin\theta_1 x - \cos\theta_1 z \\ h_i = y \\ v_i = -\cos\theta_1 x - \sin\theta_1 z \\ k_s = \sin\theta_2 \cos\theta_3 x + \sin\theta_2 \sin\theta_3 y + \cos\theta_2 z \\ h_s = -\sin\theta_3 x + \cos\theta_3 y \\ v_s = \cos\theta_2 \cos\theta_3 x + \cos\theta_2 \sin\theta_3 y - \sin\theta_2 z \end{cases} \quad (1)$$

q_i 和 p_i 与笛卡儿坐标系的关系为:

$$q_i = \frac{-\beta \cos\theta_1 x + (\alpha \cos\theta_1 - \sin\theta_1) y - \beta \sin\theta_1 z}{\sqrt{\beta^2 + (\alpha \cos\theta_1 - \sin\theta_1)^2}} \quad (3)$$

$$p_i = \frac{-\cos\theta_1 (\alpha \cos\theta_1 - \sin\theta_1) x - \beta y - \sin\theta_1 (\alpha \cos\theta_1 - \sin\theta_1) z}{\sqrt{\beta^2 + (\alpha \cos\theta_1 - \sin\theta_1)^2}} \quad (4)$$

二维分形海面的散射场为:

$$E_s(\mathbf{r}) = \frac{ik e^{jkr}}{4\pi r} E_0 (E_x x + E_y y + E_z z) \quad (5)$$

其中:

$$E_x = [2I_x(1 - \sin^2\theta_2 \cos^2\theta_3) - I_y \sin^2\theta_2 \sin^2\theta_3 - I_z \sin 2\theta_2 \cos\theta_3] \quad (6)$$

$$E_y = [-I_x \sin^2\theta_2 \sin^2\theta_3 + 2I_y(1 - \sin^2\theta_2 \sin^2\theta_3) - I_z \sin^2\theta_2 \cos\theta_3] \quad (7)$$

$$E_z = [-I_x \sin 2\theta_2 \cos\theta_3 - I_y \sin 2\theta_2 \sin\theta_3 + 2I_z \sin^2\theta_2] \quad (8)$$

$$I_x = \frac{g(\alpha_0, \beta_0)}{\sqrt{D}} I, I_y = \frac{h(\alpha_0, \beta_0)}{\sqrt{D}} I, I_z = \frac{m(\alpha_0, \beta_0)}{\sqrt{D}},$$

$$D = \beta^2 + (\alpha \cos\theta_1 - \sin\theta_1)^2, g(\alpha_0, \beta_0) = g_1 E_{01} + g_2 E_{02} e^{jx},$$

$$h(\alpha_0, \beta_0) = h_1 E_{01} + h_2 E_{02} e^{jx}, m(\alpha_0, \beta_0) = m_1 E_{01} + m_2 E_{02} e^{jx};$$

$$g_1 = \frac{B}{B + \sqrt{A}} \{ \beta_0 (B \cos\theta_2 - \sqrt{A} \cos\theta_1) - \sin\theta_2 \sin\theta_3 [\alpha_0^2 + \beta_0^2] \cos\theta_1 - \alpha_0 \sin\theta_1 \} \quad (9)$$

$$g_2 = \frac{B}{B + \epsilon_0/\epsilon_1 \sqrt{A}} \{ (\beta_0^2 + 1) \sin\theta_1 - \alpha_0 \cos\theta_1 + \epsilon_0/\epsilon_1 \sqrt{A} [\beta_0 \sin\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3 + \cos\theta_2 (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1)] \} \quad (10)$$

$$h_1 = \frac{B}{B + \sqrt{A}} \{ \cos\theta_2 [(\beta_0^2 + 1) \sin\theta_1 - \alpha_0 \cos\theta_1] + \sin\theta_2 \cos\theta_3 [(\alpha_0^2 + \beta_0^2) \cos\theta_1 - \alpha_0 \sin\theta_1] + \sqrt{A} (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1) \} \quad (11)$$

$$h_2 = \frac{\beta_0 B}{B + \epsilon_0/\epsilon_1 \sqrt{A}} \{ \epsilon_0/\epsilon_1 \sqrt{A} [\cos\theta_1 \cos\theta_2 - \sin\theta_1 \sin\theta_2 \cos\theta_3] - B \} \quad (12)$$

$$m_1 = -\frac{B}{B + \sqrt{A}} \{ \beta_0 B \sin\theta_2 \cos\theta_3 + \sin\theta_2 \sin\theta_3 [(\beta_0^2 + 1) \sin\theta_1 - \alpha_0 \cos\theta_1] + \beta_0 \sqrt{A} \sin\theta_1 \} \quad (13)$$

$$m_2 = -\frac{B}{B + \epsilon_0/\epsilon_1 \sqrt{A}} \{ (\alpha_0^2 + \beta_0^2) \cos\theta_1 - \alpha_0 \sin\theta_1 + \epsilon_0/\epsilon_1 \sqrt{A} [\sin\theta_2 \cos\theta_3 (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1) + \beta_0 \cos\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3] \} \quad (14)$$

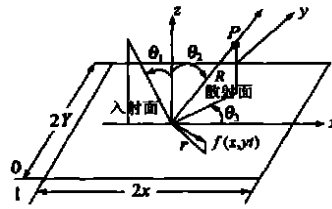


图 1 二维分形海面笛卡儿坐标系

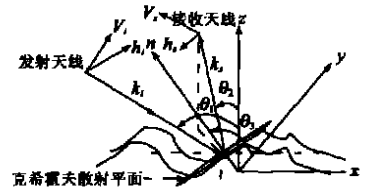


图 2 二维分形海面散射几何示意图(局部坐标系)

其中:

$$A = \epsilon_i/\epsilon_0(1 + \alpha_0^2 + \beta_0^2) - D, B = \alpha_0 \sin\theta_1 + \cos\theta_1;$$

$$\alpha_0 = \frac{\sin\theta_1 - \sin\theta_2 \cos\theta_3}{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}, \beta_0 = \frac{-\sin\theta_2 \sin\theta_3}{\cos\theta_1 + \cos\theta_2};$$

$$I = \sum_{l=1}^{N_f-1} AXY \prod_{n=0}^{N_f-1} J_l [-Ck(\cos\theta_1 + \cos\theta_2) \sigma \cdot b^{(s-2)n}] \cdot \sin c [(k(\sin\theta_1 - \sin\theta_2 \cos\theta_3) + K_0 \sum_{n=0}^{N_f-1} l_n b^n \cos(\beta_n(t))) X] \cdot \sin c [(-k \sin\theta_2 \sin\theta_3 + K_0 \sum_{n=0}^{N_f-1} l_n b^n \sin(\beta_n(t))) Y] \cdot \exp(jl^T \vartheta(t)) \quad (15)$$

其中:

$$\vartheta_n(t) = \Phi_n(t) - \Omega t + K_0 \sqrt{V_x^2 + V_y^2} b^n \cos(\cos\beta_n(t) - \phi_v),$$

$$l = (l_0, l_1, l_2, l_3, \dots, l_{N_f-1})^T, \phi_v = \text{tg}^{-1}(V_y/V_x),$$

$$\vartheta(t) = [\vartheta_0(t), \vartheta_1(t), \vartheta_2(t), \dots, \vartheta_{N_f-1}(t)]^T.$$

由笛卡儿坐标系和局部坐标系的关系有^[10]:

当 $E_{02} e^{jx} = E_{01} (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1) / \beta_0$ 时, 水平极化入射波照射

海面, 得到:

$$\begin{bmatrix} S_{k v_s i} \\ S_{h v_s i} \\ S_{v v_s i} \end{bmatrix} = \frac{jk e^{jkr}}{4\pi r D} \cdot J \quad (16)$$

$$J = \begin{bmatrix} J_x \sin\theta_2 \cos\theta_3 + J_y \sin\theta_2 \sin\theta_3 + J_z \cos\theta_2 \\ -J_x \sin\theta_3 + J_y \cos\theta_3 \\ J_x \cos\theta_2 \cos\theta_3 + J_y \cos\theta_2 \sin\theta_3 - J_z \sin\theta_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

其中:

$$J_x = \beta_0 E_{x01} + (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1) E_{x02},$$

$$J_y = \beta_0 E_{y01} + (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1) E_{y02},$$

$$J_z = \beta_0 E_{z01} + (\alpha_0 \cos\theta_1 - \sin\theta_1) E_{z01}$$

$$E_{x01} = 2(1 - \sin^2\theta_2 \cos^2\theta_3) g_1 - (\sin^2\theta_2 \sin 2\theta_3) h_1 - (\sin 2\theta_2 \cos\theta_3) m_1 \quad (18)$$

$$E_{x02} = 2(1 - \sin^2\theta_2 \cos^2\theta_3) g_2 - (\sin^2\theta_2 \sin 2\theta_3) h_2 - (\sin 2\theta_2 \cos\theta_3) m_2 \quad (19)$$

$$E_{y01} = -(\sin^2\theta_2 \sin 2\theta_3) g_1 + 2(1 - \sin^2\theta_2 \sin^2\theta_3) h_1 - (\sin 2\theta_2 \sin\theta_3) m_1 \quad (20)$$

$$E_{y02} = -(\sin^2\theta_2 \sin^2\theta_3) g_2 + 2(1 - \sin^2\theta_2 \sin^2\theta_3) h_2 - (\sin 2\theta_2 \sin\theta_3) m_2 \quad (21)$$

$$E_{z01} = -(\sin 2\theta_2 \cos\theta_3) g_1 - (\sin 2\theta_2 \sin\theta_3) h_1 + 2(\sin 2\theta_2) m_1 \quad (22)$$

$$E_{z02} = -(\sin 2\theta_2 \cos \theta_3) g_2 - (\sin 2\theta_2 \sin \theta_3) h_2 + 2(\sin^2 \theta_2) m_2 \quad (23)$$

当 $E_{02} e^{jx} = -E_{01} \beta_0' (\alpha_0 \cos \theta_1 - \sin \theta_1)$ 时, 海面被垂直极化波照

射. 得到:

$$\begin{bmatrix} S_{k_h h_i} \\ S_{h_h h_i} \\ S_{v_h h_i} \end{bmatrix} = \frac{j k e^{jbr}}{4\pi r D} \cdot \mathbf{K} \quad (24)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_x \sin \theta_2 \cos \theta_3 + K_y \sin \theta_2 \sin \theta_3 + K_z \cos \theta_2 \\ -K_x \sin \theta_3 + K_y \cos \theta_3 \\ K_x \cos \theta_2 \cos \theta_3 + K_y \cos \theta_2 \sin \theta_3 - K_z \sin \theta_2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

其中

$$K_x = (\alpha_0 \cos \theta_1 - \sin \theta_1) E_{x01} - \beta_0 E_{x02}$$

$$K_y = (\alpha_0 \cos \theta_1 - \sin \theta_1) E_{y01} - \beta_0 E_{y02}$$

$$K_z = (\alpha_0 \cos \theta_1 - \sin \theta_1) E_{z01} - \beta_0 E_{z02}$$

由于入射波是横电磁波, 即电场没有 k_i 分量, 我们得到 $S_{k_k h_i} = 0, S_{h_k h_i} = 0, S_{v_k h_i} = 0$. 数值计算表明, 任何方位接收信号, $S_{k_h h_i}$ 与 $S_{k_v h_i}$ 的值均可认为是零.

3 全极化雷达后向散射截面

雷达截面可以根据 $\sigma_q = 4\pi r^2 |S_q|^2$ 进行计算, 其中 $q = h_s, v_s, j = h_i, v_i$. 我们以 $\sigma_{k_h h_i}$ 和 $\sigma_{k_v h_i}$ 表示去极化散射系数. 考虑粗糙度 $s = 1 \sim 3$, 基本波长 $\lambda_0 = 50.8\text{m}$, $N_f = 4, \sigma = 0.2\text{m}$, 海水相对介电常数 $\epsilon_r = 72.0 + j69.0i, b = e/2, t = 0.01\text{s}$, 雷达波长 $\lambda = 0.056\text{m}, X = 560\text{m}, Y = 100\text{m}$ 的分形海面区域. 当 $\theta_3 = 180^\circ, \theta_1 = \theta_2$ 时, 我们的散射模型为全极化后向散射模型. 为了验证模型的正确性, 我们利用上述参数对海域进行数值模拟. 结果表明我们的模型得到的雷达后向散射特性与文献[11]的实验结论相符.

3.1 全极化雷达后向散射截面不同入射角的分布

图 3 是当入射角从 0° 增加到 70° , VV 极化和 HH 极化时, 海面归一化雷达后向散射截面随入射角的变化关系. 图 4 则为 HV 极化和 VH 极化时雷达截面随入射角变化图. 图例中 rcsvv 和 rcs hh 分别表示为 VV 极化和 HH 极化情况时的雷达散射截面.

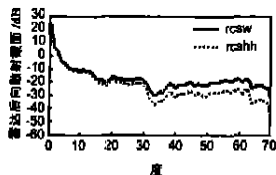


图 3 HH 极化和 VV 极化下雷达后向散射截面 (横坐标为入射角). $\lambda_0=50.8\text{m}, \epsilon_r=72.0+j69.0i, \lambda=0.056\text{m}, X=560\text{m}, Y=100\text{m}$

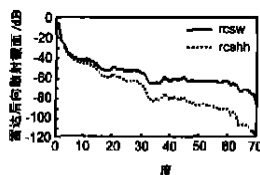


图 4 HV 极化和 VH 极化下雷达后向散射截面 (横坐标为入射角)

图 3 在 HH 极化和 VV 极化状态下, 随着入射角的增大, 归一化海面后向散射截面近似指数关系衰减, 这一点与文[11]的结论一致. 同时发现, 在 HV 极化和 VH 极化状态下, 海面雷达后向散射截面与入射角的关系也能近似的用指数关系描述 (见图 4). 另外, 对于固定的入射角, HV 极化下的雷达截

面值要比 VH 极化下的雷达截面值小.

另外, 也可以看到, VH 极化和 HV 极化状态下, 海面后向散射雷达截面值要比 HH 极化和 VV 极化状态下的海面后向散射雷达截面值要小的多, 在实际雷达探测中甚至探测不到, 这也是人们往往忽略这两种极化状态的原因.

3.2 海面雷达后向散射截面与极化方式的关系

图 3 和图 4 给出了不同极化的后向雷达散射截面. 可以看出 VV 极化状态下的海面雷达后向散射截面要比 HH 状态下的海面雷达后向散射截面大, VH 极化状态下的海面雷达后向散射截面要比 HV 状态下的海面雷达后向散射截面大. 这是因为, 不同极化大海面雷达回波是相应的电场方向与海面相互作用的结果. 由于电磁波传播、反射、散射和绕射产生去极化现象, 因而导致海面雷达后向散射截面的变化.

3.3 海面雷达后向散射截面与雷达波长的关系

海面雷达后向散射截面与雷达波长有密切关系, 在实地探测中要获得海面雷达后向散射截面与雷达波长有密切关系是比较困难的, 因为要获取这种关系就要求至少两部雷达同时工作. 尽管这样人们还是测出了这个关系^[11]. 实验研究表明, 在一般情况下, 海面雷达后向散射截面随雷达频率增大而增加. 图 5 示出了 VV 极化和 HH 极化状态下, 海面雷达后向散射截面与雷达波长有密切关系. 由图 5 看出, 两种极化状态下, 海面雷达后向散射截面均随雷达频率增大而增加.

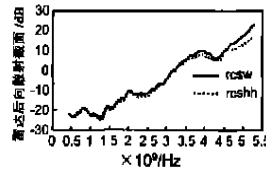


图 5 不同入射频率 (HH VV) 雷达后向散射截面横坐标为雷达频率, 从 P 波段变化到 C 波段.

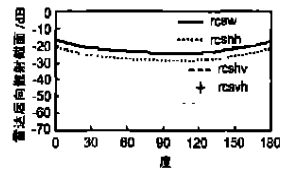


图 6 不同风向不同极化下 (HH VV HV VH) 雷达后向散射截面. 横坐标为稳定风海域风向与平台飞行方向的夹角变化.

3.4 不同风向的全极化雷达后向散射截面

我们模拟了不同风向 (横坐标为风向与雷达平台运动方向的交角) 时, HH、VV 极化和 VH、HV 极化雷达后向散射截面分布的拟合曲线图 (图 6). 其中入射角为 30° , 雷达平台运动方向从顺风逐渐变为逆风, 其中 0° 表示逆风, 90° 表示正侧风, 180° 表示顺风.

图 6 中图形变化趋势与文献[12]中相应的趋势一致. 另外由图 6 发现, 四种极化方式下的雷达后向散射截面随风向分布图完全相同, 四种极化方式下的雷达后向散射截面之间的关系是相对稳定的. 在任何风向状态下, VV 与 HH、HV、VH 极化下的雷达后向散射截面差值分别为: 4.28dB、30.94dB 和 37.29dB. 当雷达平台逆风运动时的雷达后向散射截面要比顺风时大 0.96dB, 比侧风时大 7.88dB. 由图 6 可见, 风向对于雷达信号影响较大. 因此可以利用我们的模型, 通过雷达测量, 可以反演出风场的变化.

4 结论

采用二维分形模型, 利用我们建立的二维分形海面散射

模型,可以模拟测量海面散射的极化性质.数值结果表明,我们的散射模型与有关文献结果吻合,从而证明了我们模型的正确性.数值结果表明:海面雷达后向散射截面随入射角增大而呈指数衰减.VV极化状态下的海面雷达截面要比HH状态下的海面雷达后向散射截面大,HV极化状态下的海面雷达截面要比VH状态下的海面雷达后向散射截面大.海面雷达后向散射截面均随雷达频率增大而增加.四种极化方式下的雷达后向散射截面随入射角和风向分布图完全相同(在数值上,任何角度入射或任何风向时,它们的差值保持不变),且风向对回波信号的影响较大.

参考文献:

- [1] 谢涛.椭圆极化入射波照射二维分形海面的散射场[A].全国微波毫米波会议论文集[C].北京:中国电子学会,2003.1011-1018.
- [2] Sinclair G. The transmission and reception of elliptically polarized waves [J]. Proc IRE, 1950, 38: 148- 151.
- [3] Kenraugh E.M. Effects of the type of polarization on echo characteristics[R]. Columbus: Antenna Lab, Ohio State Univ, 1951.
- [4] Van zy1 J J, Zebker. Howard A, Charles Elachi. Imaging radar polarization signatures: Theory and observation[J]. Radio Science, 1987, 1. 22 (2): 529- 543.
- [5] F Berizzi, E Dalle Mese. Scattering coefficient evaluation from a two dimensional sea fractal surface[J]. IEEE Trans Antennas Propagation, 2002, 50(4): 426- 434.
- [6] F Berizzi, E Dalle Mese. Scattering from a 2D sea fractal surface: fractal analysis of the scattered signal[J]. IEEE Trans Antennas Propagation, 2002, 50(7): 918- 925.
- [7] G Andreoli, F Berizzi, E Dalle Mese, G Pinelli. A two dimensional fractal model of sea surface and sea spectrum evaluation[A]. Proc Inst Elect Eng Int Radar Conf[C]. Edinburgh, U K: IEEE, 1997. 189-

193.

- [8] F Berizzi, E Dalle Mese. Sea wave fractal spectrum for SAR remote sensing[A]. Proc Inst Elect Eng Radar, Sonar Navigat[C]. U K: IEE, 2001, 148(2): 56- 66.
- [9] T Leung, K Jin Au, S Robert T. Theory of microwave remote sensing [M]. New York: Wiley, 1985.
- [10] Tao XIE, YiJun HE, BinHong LI, et al. The Scattering Fields of 2-D Sea Fractal Surface with Finite Conductivity Illuminated by Ellipse Polarization Wave [A]. Proc Int Geoscience Remote Sensing Symposia [C]. U S A: IEEE, 2004. 9.
- [11] 周长宝.海面雷达后向散射截面特性研究[A].郭华东.863-308主题十年汇报-星载雷达应用研究[C].北京:科学出版社,1996.32- 41.
- [12] 金亚秋.电磁散射和热辐射的遥感理论[M].北京:科学出版社,1998.270- 273.

作者简介:



谢涛男,1973年10月出生于湖南省张家界市,博士,主要研究方向为电磁场与微波技术,1995年毕业于湖南省常德师专物理系,2002年毕业于贵州工业大学材料学专业,获工学硕士学位,2002年春至今,在上海交通大学电信学院电子工程系攻读博士学位,主要从事微波遥感研究. E-mail: xtplqk@sjtu.edu.cn.

何宜军男,1963年12月出生于湖南省岳阳市,中国科学院海洋研究所研究员,博士生导师,1985,1990,1993年分别获湖南师范大学物理系学士学位、西安电子科技大学应用物理系硕士学位、东南大学毫米波国家重点实验室博士学位,1993~1996年和1996~1998年分别在青岛海洋大学海洋遥感研究所和中国科学院海洋研究所做博士后,主要从事海洋微波遥感基础理论和应用研究,已出版专著1部,发表论文30余篇.