

海洋表面膜特征的 SAR 图像探测^{*}

黄晓霞 朱振海

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 讨论并分析各种成因类型的海洋表面膜特征及其在海洋 SAR 图像中影像特征。对渤海湾的 SAR 图像中的表面膜特征进行检测并对这些表面膜特征成因进行了分类。

关键词 海洋表面膜, SAR 图像, 分类

1 前 言

在低海况的条件下,海洋表面膜广泛地存在于海洋水体的表面。表面膜的类型从成因上可分为:人为排污造成的原油油膜、自然界生物活动成因的表面单分子生物膜和海底油气藏烃类渗漏成因单分子厚的表面烃类物质成分油膜。海洋水面的表面膜可以阻尼海面短表面波浪,强烈地影响海洋表面波浪场的状态,从而使多种大气/海洋相互作用过程、可见光波段和微波波段的电磁发射及电磁波的散射,受到海洋表面膜的影响而产生改变。因此应用多种遥感的方法如荧光、可见光、热红外和微波等技术都可对海洋表面膜进行有效地检测。

90年代发展形成的星载合成孔径侧视雷达(SAR)技术,由于具有全天时、全天候和主动遥感方式等优点,而比其它遥感方法更适用于海洋这一环境中的海面特征检测。目前,世界上使用的主要星载 SAR 数据有:ERS-1/2 C 波段 VV 极化、JERS-1 L 波段的 HH 极化及 RADARSAT C 波段 HH 极化等几种类型。这些 SAR 数据各自有其适应的探测对象和目的,其中 ERS-1/2 SAR 是针对海洋领域的应用研究而设计的,特别是 VV 极化的方式有利于海洋表面特征的成像。

2 海洋表面油膜的 SAR 检测机理

2.1 海洋表面特征的 SAR 成像机理

将微波遥感技术应用于海洋环境的研究,首先必须对微波与海面之间相互作用的物理过程有充分

地认识。应用随机粗糙表面的电磁波理论,可以对这一物理过程作出合理、准确的分析和描述。海面电磁波散射理论中,目前主要有以下3种模型分别适用于不同入射角情况下的海面雷达后向散射研究^[1]。即:(1)镜点散射模型;(2)Bragg 散射模型;(3)复合表面模型。镜点散射模型适用于海面的粗糙度与电磁波的波长相比具有充分大的曲率半径,并且入射角为 0° — 20° 左右的情况;在较大入射角时,照射到海面的电磁波波长与海面波高谱的某一正弦波分量方向一致,因而产生共振,其后向散射的强度由 Bragg 方程给出,因而又称为 Bragg 散射。根据电磁波散射理论,在一次散射的情况下,海洋表面积上的散射截面积可表示为^[2]:

$$\sigma_0^{(1)}(\theta)_{ij} = 4\pi k^4 \cos^4 \theta |g_{ij}^{(1)}(\theta)|^2 W(2k \sin \theta, 0) \quad (1)$$

其中, $W(2k \sin \theta, 0)$ 为海洋表面粗糙度的二维海面波高谱; $g_{ij}^{(1)}(\theta)$ 为一次后向散射系数,下标 ij 表示入射和接收的极化方式; θ 为入射角; k 为电磁波波数。

对于水平极化方式:

$$g_{HH}^{(1)}(\theta) = \frac{\epsilon_r - 1}{[\cos \theta + (\epsilon_r - \sin^2 \theta)^{1/2}]^2} \quad (2)$$

对于垂直极化方式:

$$g_{VV}^{(1)}(\theta) = \frac{(\epsilon_r - 1)[\epsilon_r(1 + \sin^2 \theta) - \sin^2 \theta]}{[\epsilon_r \cos \theta + (\epsilon_r - \sin^2 \theta)^{1/2}]^2} \quad (3)$$

其中 ϵ_r 为海水的相对介电常数。根据(1)式,海面雷达回波主要是由波数为 $2k \sin \theta$ 的海面波浪后向散射作用造成。满足这一条件的海面波浪一般为波长一至几个厘米的表面张力波(毛细波和短重力波)。Wright(1976)的研究也指出:在入射余角远小于 90° 的情况下,对于微波来说,最重要的散射元

是满足给定雷达波长和入射场方向的 Bragg 条件的表面张力波^[3]。在实际的海洋环境中, 表面张力波通常与较长波长的重力波相叠加, 这时一般应用复合表面模型来计算海面电磁波的后向散射。在复合表面模型中对于海面长重力波, 主要用镜点散射模型来进行计算, 而对于叠加在长波上的短表面波, 则用 Bragg 散射模型来计算。在其海面后向散射可用下面公式计算获得^[1]:

$$\sigma^0(\theta)_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} d(\tan \psi) \int_{-\infty}^{\infty} d(\tan \delta) \cdot \sigma_0(\theta_i)_{ij} p(\tan \psi, \tan \delta) \quad (4)$$

其中 $p(\tan \psi, \tan \delta)$ 为海面大尺度波高谱, δ, ψ 是局部海洋表面斜率, θ_i 是局部入射角。

本项研究中选用的是复合表面模型, 根据不同井位实测的海水、原油介电常数分别计算了后向散

射系数(表 1)。从表中可以看出在相同雷达参数和海面状态下, 原油的后向散射系数普遍比海水的后向散射系数低 8—10dB。应该强调的是在微波遥感中, 成像物理表面的特性如坡度、粗糙度、复相对介电常数及表层结构等参数, 决定雷达后向散射系数的大小。对于海面特征而言, 虽然海水和油膜之间的介电常数差异比较大, 但对海洋表面目标后向散射特征起主要作用的是海面的物理外形特征(主要是粗糙度)。表 1 中所获得的后向散射系数是针对实测海水和石油的介电常数, 根据上述复合表面模型的计算结果。模型计算时用到的主要参数有: 雷达波频率为 5.3GHz, 极化方式为 VV, 相对介电常数用实验室实测数据, 海面风速为 6m/s, 风向与入射平面夹角为 0°。

表 1 渤海湾不同井位海水和石油实测介电常数及后向散射系数*

Table 1 Dielectric constant measured in laboratory and backscattering coefficient of sea water and oil of different oil wells in Bohai Bay

井位		介电常数(实部 ϵ_r)	介电常数(虚部 ϵ_i)	后向散射系数(σ^0)
BZ34-2	海水	66.887	33.614	-2.031
	石油	2.473	0.064	-13.156
CBA	海水	67.056	33.779	-2.027
	石油	2.544	0.053	-12.901
QK17-3	海水	67.201	33.868	-2.025
	石油	3.749	0.153	-10.022
QK18-1	海水	67.107	33.718	-2.027
	石油	2.533	0.057	-12.937
SZ36-1	海水	67.187	33.628	-2.027
	石油	2.648	0.069	-12.546

* 实验室测试条件为温度 T 为 23℃, 盐度为 3.5‰, 频率为 5.3GHz

2.2 海洋表面油膜的 SAR 探测机理

从物理化学和水动力学的角度来看, 海洋表面油膜最显著的特点就是它们对海面毛细波和短重力波的阻尼作用^[4-7], 即表面油膜阻尼海面的短表面波。主要是表面油膜的存在引起海洋表面张力的减小, 并导致海面粗糙度改变。从上节讨论可知, 当雷达波的入射角范围在 20°—70°之间时, 这些短表面波是可比波长微波散射的主要散射元(Bragg 散射)。表面油膜的存在使产生 Bragg 散射的短表面波受到阻尼, 从而改变海面的粗糙度这一影响海洋表面目标后向散射系数的主要因素。表面油膜起到平滑海洋表面的作用, 而致使雷达接收到后向散

射系数(表 1)。从表中可以看出在相同雷达参数和海面状态下, 原油的后向散射系数普遍比海水的后向散射系数低 8—10dB。应该强调的是在微波遥感中, 成像物理表面的特性如坡度、粗糙度、复相对介电常数及表层结构等参数, 决定雷达后向散射系数的大小。对于海面特征而言, 虽然海水和油膜之间的介电常数差异比较大, 但对海洋表面目标后向散射特征起主要作用的是海面的物理外形特征(主要是粗糙度)。表 1 中所获得的后向散射系数是针对实测海水和石油的介电常数, 根据上述复合表面模型的计算结果。模型计算时用到的主要参数有: 雷达波频率为 5.3GHz, 极化方式为 VV, 相对介电常数用实验室实测数据, 海面风速为 6m/s, 风向与入射平面夹角为 0°。

回波减少, 反映在 SAR 图像上, 由于油膜的图像亮度值低于周围海面特征的亮度值, 而表现出黑色的斑块的特征。

表面油膜对波长为 $\lambda_B = (\lambda_R \sin \theta) / 2$ (λ_R 为雷达波长, θ 为入射角) 的海洋表面波的阻尼作用的大小, 可以通过计算无表油面膜覆盖海面的雷达后向散射系数 NRCS σ^0 和表面油膜覆盖海面的后向散射系数 NRCS σ^S 的比值来获得。据 Alpers 等的研究认为, σ^S 和 σ^0 的比值可表示为雷达波入射角 θ 函数^[8]:

$$y(f) = \sigma^S / \sigma^0 = \frac{\sigma_{sp}^0(\theta) + \sigma_B^0(\theta)}{\sigma_{sp}^S(\theta) + \sigma_B^S(\theta)} \quad (5)$$

其中： σ_{sp}^0 和 σ_B^0 分别为镜点散射和 Bragg 散射的后向散射系数。在具体研究中为了简便起见，当入射角较大的情况时，一般只考虑 Bragg 散射，

$$\sigma^0(\theta)/\sigma^s(\theta) = \frac{E^0(2k\sin\theta, 0)}{E^s(2k\sin\theta, 0)} \quad (6)$$

该式表明雷达后向散射截面的衰减，等于具有 Bragg 波数 $k_B = 2k\sin\theta$ (k 为雷达波的波数) 的海面波高谱的衰减，从而说明了表面油膜是通过降低海面波高谱来减少雷达的后向散射回波。

3 不同成因类型海洋表面膜特征的 SAR 影像特征及其分类

3.1 表面油膜特征的 SAR 影像特征

如上文所述，海面表面油膜在雷达海面回波图像中常表现为黑色斑块特征。然而由于海洋表面油膜的成因多种多样，不仅是含矿物原油的人为泄漏成因表面油膜可以阻尼海洋表面波并在 SAR 图像中成像；生物成因的表面油膜，如由浮游生物和鱼类活动产生的表面膜，也具有很强的波浪阻尼能力，在 SAR 图像上引起相对于其它海面特征而言具有较低后向散射值的影响特征；具有更为重要的应用意义的是海底油气藏渗漏产生的烃类也可形成阻尼表面波的表面油膜。另一方面，其它海洋特征以及大气现象，如海面风速相对较低的海域、雨点和油脂状海冰，都可阻尼海洋短表面波。从而在 SAR 图像中形成黑色斑块特征，这些非表面油膜成因的黑色斑块图像特征可统称为“似油膜特征”。这就使从 SAR 图像中区分和检测表面油膜变得更为复杂和困难。为了达到在 SAR 图像中检测各种成因的海洋表面膜和“似油膜特征”并对各种类型的表面膜加以区分，必须获得对上述各种成因的表面膜和表面特征在 SAR 图像中形成的特征影像的认识。下面就各种类型的表面特征在 SAR 图像中的影像特征进行描述说明。

天然生物油膜是由鱼类和一些种类植物分泌的有机物质形成的海面微层。在较低海况下这种微层可以在海洋表面上广泛存在。这种表面油膜最可能的聚集带为生物活动强烈的区域如海岸带、上升流区^[9, 10]以及海流边沿^[11]，特别是每年 4 月份（春季浮游生物生长期）的海岸带水体中，由于与表面流和涡流相互作用而形成黑色、螺旋状的形状特征。天然生物油膜含有各种不同的物质组成，可改变大气/海洋的界面而对大气/海洋相互作用过程产生强弱

不一的影响。由于生物油膜的组成与表层水体中的生物活动相关，这类表面油膜表现出强的季节变化特征。

由于污染成因的表面油膜在 SAR 图像上形成大面积的黑色区域，船的排污形成表面膜具有细而长的线性特征。

海底油气藏烃类渗漏形成的表面油膜也呈现出面状的分布特征，但与污染表面膜和低风速区形成的黑色斑块特征不同，油气藏烃类渗漏形成的表面膜可在同一区域或其附近重复出现，而其它成因的表面特征的分布却具有随机性。另一方面，烃类渗漏成因的表面膜出现的位置与特定地质构造位置具有一定的相关性。因此通过多时相观测和多元数据复合的方法可判断出烃类渗漏成因。

另外，其它可在 SAR 图像中形成低后向散射特征的“似表面膜特征”主要有：

低潮期露出海面的沙滩可形成沿海岸带分布黑色影像特征。由于(C 波段)低的微波反射，这些地区的湿沙在 SAR 图像上表现出黑色的特征。然而，由于雷达的后向散射与土壤的湿度密切相关，同一地区在不同潮汐周期获取的 SAR 图像上也可表现出具有较高后向散射特征。

大气波如振动的波场，也可在 SAR 图像中产生规则的黑色条带。由于水面波浪的形成，雷达后向散射主要由风速决定，大气波也可在 SAR 图像中形成特征影像。另外，风的阴影效应（即局部海域的风速太低而不能生成任何 Bragg 波浪）也可形成 SAR 图像中大面积低散射区。

海底沙坝的存在可调制潮流，反过来调制海面粗糙度，从而改变雷达后向散射。这一效应在 SAR 图像中产生出现河口三角洲的明显的明暗相间的特征。

不同类型的海冰，由于具有不同的密度、湿度和表面粗糙度，从而使后向散射系数也不相同。大陆架冰带在 SAR 图像中也常常表现出低后向散射的特征，而易于与表面膜成因的低后向散射特征相混淆。在 SAR 图像中的海冰常具有不同灰度级。

SAR 图像中的黑色斑块特征其成因可以是海岸带的天然生物膜、或是原油的泄漏（一般沿着船航行的轨迹延伸）、也可能是由于低风速、退潮时出露的潮坪、海底沙坝的水面反映、海冰和船尾迹。在 SAR 图像中可能出现黑色特征成因还有大雨（热带地区）、内波（主要出现在海峡处），及上升流出现的海域。

上述海洋表面油膜和“似表面膜特征”均可在 SAR 图像中出现, 本研究中我们感兴趣的从图像中识别出天然表面油膜, 从而更进一步识别出海底油气藏烃类渗漏成因的表面油膜, 以达到应用 SAR 技术来探查海底油气资源的目的。在下文中, 为了便于讨论问题, 我们将表面油膜和“似表面膜特征”统称为海洋表面膜。

3.2 海洋表面膜的 SAR 影像特征分类

SAR 用于检测表面膜是利用其对云层覆盖具有穿透能力和较高分辨率的优点。然而, 通过对上述对不同成因表面膜特征在 SAR 图像中的影响特征可知, 在无其它辅助数据存在的情况下, 区分不同类型的表面膜仍然存在局限性。因而在应用卫星

SAR 数据区分各种成因的表面膜之前必须对这些局限性有更好的认识。

应用 SAR 影像来检测海洋表面膜时存在的最主要问题是区分表面膜和能对短表面波产生平滑作用并在图像中形成黑斑的现象。如上文中所讨论, 表面膜中还可包括天然生物膜, 其它海面特征有油脂状海冰、大面积低风速区、背风岬角区、雨点、海流剪切带、内波和上升流等等。在其它类型的表面特征中, 天然生物膜是最大的问题。其它海洋表面特征在 SAR 图像中形成的表面膜特征可通过其特定的地理位置和形态特征与表面膜相区分(表 2)。表 2 也是对各种表面特征在 SAR 图像中根据其影像特征、后向散射系数剖面 and 梯度以及表面膜出现的地理位置及气候条件限制进行的分类。

表 2 不同类型的海洋表面特征及其在 ERS-1/2 SAR 图像上的特征影像

Table 2 Different sea surface features and their imagery characteristic in ERS-1/2 SAR images

海洋表面特征	SAR 影像特征	可能出现的地理位置	气候条件限制	后向散射系数值/dB	雷达反差/dB	梯度/(dB/100m)
天然膜	当与海流相互作用时很容易改变形状	海岸带和上升流出现地区	在海面风速 $>7\text{m/s}$ 时溶解	-24--15	2.5-4.2	1.5-3.0 和 5
油脂状海冰	大面积的黑斑	主要沿冰线分布, 但在大洋中也可出现	冬季或靠近冰线区的寒冷夜晚	-24--14	13	1-2
低风速区	大面积的黑斑	随处可见	海面风速小于 3m/s	-24--18	9.7	0.3-0.5
背风岬角	近岸边的黑色斑块	陆地边缘附近和峡湾地带	即使在很高风速的情况下也可出现 (15m/s)	-24--12	6.8	1.5-3.0
雨点	具有特征的黑色中心的亮斑	热带地区	滂沱大雨和强风	-24--8	3.5-15	0.1-0.3 1.4-5.0
内波	一系列平行的暗亮条带	海山附近或较浅水域如: 大陆架边缘和海流切变区	风速 $<8\text{m/s}$	-24--8	0.8	0.4-1.0
波浪、海流沿剪切带相互作用	狭窄的或亮或暗弧形特征	强海流地区	风速小于 $10-12\text{m/s}$	-24--8	2-6.3	0.2-0.4
上升流	黑斑	表面海流散开处, 主要出现在海岩带附近	风速小于 $6-8\text{m/s}$	-24--8		
泄漏原油	黑斑	随处可见	风速小于 $10-12\text{m/s}$	-3.9 和 -19.9--7	0.6-9.8	1.7
海底油气藏渗漏烃类油膜	黑斑	与有利的油气圈闭构造位置一致	风速小于 6m/s	-24--10	2-4	1.5-3.0

注: 雷达反差定义为表面膜覆盖区和无表面膜覆盖区的后向散射差值

表中有关数据参考: Hovland, H., Johannessen, J., and Digranes, G. Norwegian surface slick report, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway. 1994.

对天然生物膜的不同实例研究表明, 图像上该种区域的后向散射系数介于 -24dB 和 -15dB 之间。这些天然膜在风速大于 7m/s 时常常溶解于水中。利用它们易于与海流相互作用, 包括剪切带和汇合区, 而形成与表面海洋环流形态有关的螺旋状变化的形状特征^[11]。这一现象可以用于识别天然

膜出现的情况, 例如沿表面环流分布的表面膜。雨点、油脂状海冰和背风岬角也易于产生较大的阻尼作用从而在图像上的梯度也较大。而原油油膜在图像上产生的后向散射系数值一般介于 -25dB 和 -10dB 之间。由于油的粘度要比天然生物膜大得多, 原油趋向于保持更大的浓度从而阻尼作用更强。

这同时也意味着油的形状在某些情况下可用于区分天然膜。

应该再次强调的是对海洋表面膜进行分类,如果在没有其它辅助数据的情况下,纯粹从 SAR 图像上的影像特征,特别是只用单波段雷达接收获得的图像将很难区分各种成因表面膜特征,必须结合一些如上表中的特定地理位置、气象条件、或者实时的海况数据和验证数据等,才能对表面膜特征的成因类型有较深的认识。

4 渤海海洋表面膜的 SAR 图像检测

4.1 研究区所用的 SAR 数据

本研究区所选用的是欧洲空间局的 ERS-2 获取的 SAR 数据,其主要成像参数 C 波段(5.3GHz),VV 极化,入射角约为 23° 。雷达后向散射信号的强弱主要是由波长为 $L_B = L_0 / 2 \sin(\theta)$ (Bragg 波长)的海面波浪的波高谱决定,其中 L_0 为雷达波的波长, θ 为雷达波的入射角。ERS-1/2 SAR 的波长 L_0 为 5.7cm,平均入射角为 23° ,因而对应的 Bragg 波长 L_B 约为 7.2cm。

可以从理论上证明海洋表面油膜,只有在很窄的风速范围内($<6\text{m/s}$)才能观测到。在数据的选择过程中,排除了风力大于 6m/s 的海况条件下的数据,以确保获得的数据能有效地检测到海洋表面膜。

4.2 检测方法

研究中应用的 SAR 数据经模-数转换后,形成像元大小为 12.5cm 的地理参考图像,对该图像我们进行了如下处理以达到提取海面油膜的目的。

图像预处理 由于 SAR 的侧视成像特点,使获得的图像像元的亮度值从近距点到远距点呈现明显投影量差异,在进一步图像应用处理之前必须对其进行辐射标定预处理;同时对图像进行减少斑点噪声的滤波处理。

图像的域值化运算及结构运算 应用了一种自适应的特征检测算法,对图像的表面油膜特征进行检测,并对检测出的表面膜影像特征进行结构开、闭运算,以保持影像的形态特征。

特征提取和分类 从获得的表面油膜特征图像中,提取出一组可用于分类的几何形态特征,同时从 SAR 灰度图像中提取出灰度梯度特征,应用统计学的方法建立分类器,从而对 SAR 图像中的表面油膜

进行识别和分类。本次研究将表面油膜分成“油膜”和“似油膜”两类。

图 1 为通过上述方法处理后渤海(N $38^\circ 13' 40.8''$, E $119^\circ 38' 27.6''$)的 ERS-2 SAR 图像,图像大小为 $80\text{km} \times 100\text{km}$ 。由于在本项研究中我们感兴趣的是海底油气藏烃类渗漏成因的油膜,我们首先将图中的表面膜特征从形状上分为细长线状、面状和宽度较大的短线状,再排除有可能为油轮排污形成的细长线状的表面膜特征后,其它两类特征与油气地质特征等多元信息的地理信息系统复合,建立 SAR 异常与已知油气藏的相关关系。

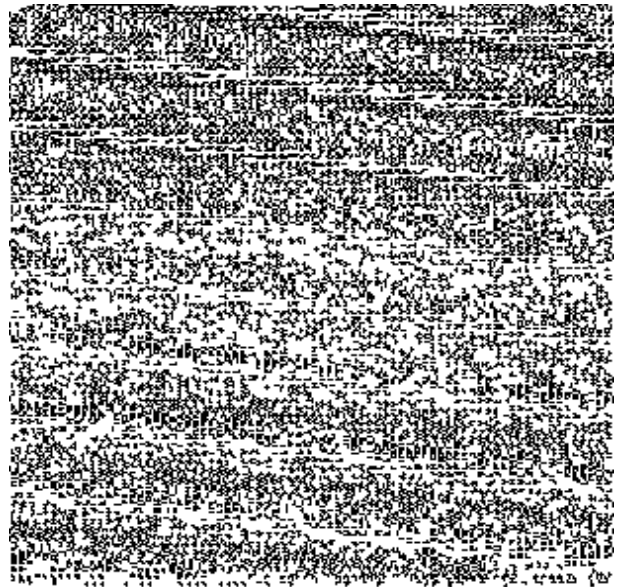


图 1 渤海湾 ERS-2 SAR 图像中的表面膜特征
Fig. 1 Sea surface slicks features in ERS-2 SAR image of Bohai Bay

5 应用意义

通过上文中对 SAR 图像中海洋表面膜特征的提取和成因识别可知,应用海洋 SAR 图像检测海洋表面膜,具有重大的实用意义和良好的应用前景。

最为直接的应用是可利用 SAR 技术监测轮船的海上排污,保持海洋环境不受人为的污染。从 SAR 图像中检测出的生物膜可以说明海洋生物的活动情况,另一方面因生物膜易于与海洋现象如涡流等相互作用,通过表面生物膜的分布特征可以揭示海洋现象的特征。

从国民经济的角度上来讲,应用意义最为重大的通过海洋表面膜的检测来探查海洋油气资源的分布情况。这一点不仅是探查和开发海洋资源,对于

保护国家海洋权益不受侵犯都是非常重要的。

参 考 文 献

- 1 G. R. Valenzuela. Theories for the interaction of electromagnetic and oceanic waves-A review. *Boundary Layer Meteorol.*, 1978, **13**: 61—85.
- 2 Robert H. Stewart. *Methods of Satellite Oceanography*. Beijing: China Ocean Press, 1991. (In Chinese) [R. H. 斯图尔特. 空间海洋学. 北京: 海洋出版社, 1991.]
- 3 M. W. Long. *Radar Reflectivity of Land and Sea*. Beijing: National Defense Industry Press, 1983. (In Chinese) [M. W. 朗. 陆地和海洋的雷达反射特征. 北京: 国防工业出版社, 1983.]
- 4 R. Cini, P. P. Lombardini. Damping effect of monolayers on surface wave motion in a liquid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1978, **65**: 387—389.
- 5 H. Huhnerfuss, P. Lange, W. Walter. Wave damping by monomolecular surface films and their chemical structure. Part I: Variation of the hydrophobic part of carboxylic acid esters. *Journal of Marine Research*, 1982, **40**: 209—225.
- 6 W. Alpers, H. Huhnerfuss. The damping of ocean waves by surface films; a new look at an old problem. *Journal of Geophysical Research*, 1989, **94**: 6251—6265.
- 7 Y. Wei, J. Wu. In situ measurements of surface tension, wave damping, and wind properties modified by natural films. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97**: 5307—5313.
- 8 W. Alpers, H. Huhnerfuss. Radar signatures of oil films floating on the sea surface and marangoni effect. *Journal of Geophysical Research*, 1988, **93**(C4): 3642—3648.
- 9 W. Alpers, V. Wismann, R. Theis, H. Huhnerfuss *et al.* The damping of ocean surface waves by monomolecular sea slicks measured by airborne multi-frequency radars during the Saxon-fpn experiment. IGASS '91, 1991, (4): 2203—2213.
- 10 A. Ochadilick, P. Cho, J. Evans-Morgis. Sar observations of currents collocated with slicks. *Journal of Geophysical*, 1992, **97**(C4): 5325—5330.
- 11 J. Johannessen, L. Roed, T. Wahl. Eddies detected in ERS-1 SAR images and simulated in reduced gravity model. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, **14**(11): 1987—1990.

作 者 简 介

黄晓霞,女,生于1970年10月,1995年毕业于中国地质大学(武汉)获遥感地质硕士学位,现于中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位,主要从事海洋遥感应用研究,已发表相关论文3篇。

Detection of Sea Surface Slick Features Using SAR Image

HUANG Xiao-Xia ZHU Zhen-Hai

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS Beijing 100101)

Abstract According to the theory of SAR Imaging of Oceanic surface characteristics, sea surface slicks of different origins can dampen the capillary waves and short gravity waves, and change the roughness of the sea surface and the light reflection characteristics of sea surface. The change of sea surface roughness can be detected using SAR imagery. In this paper, sea surface slicks of different possible origins and their imagery characteristics in oceanic SAR images have been discussed and analyzed. In the present research work, we traced the sea surface slicks in the whole Bohai Bay using ERS-2 SAR imagery, classify the slicks detected in SAR images using statistical method and analyze the possible sources of the different types of slicks.

Key words Sea surface slicks, SAR image, Classification