

基于二维激光观测的溢油及其乳化过程散射模式研究进展

过 杰¹, 孟俊敏², 何宜军³

(1. 山东省海岸带环境过程重点实验室, 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 3. 南京信息工程大学海洋技术学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 合成孔径雷达(SAR)以其高分辨率、能不受雨云影响实施全天时全天候全方位监测, 在海面溢油灾害应急监测过程中发挥着越来越重要的作用。溢油是因为海面油膜抑制了毛细波和重力波, 在 SAR 图像上呈暗斑而被识别。然而, 海面溢油的乳化过程直接影响 SAR 对海面溢油后向散射截面的观测精度。本研究以物理海洋学和激光原理以及海面电磁散射理论为基础, 通过实验利用激光扫描仪观测海面溢油粗糙度, 分别与溢油特征参数、后向散射系数建立对应关系; 耦合海面溢油参数与后向散射截面的关系, 利用电磁散射数值建模方法, 建立海面溢油散射模型, 研究海面溢油乳化过程对微波后向散射截面的影响。本项目的研究将为 SAR 监测海面溢油量、溢油厚度及油品分布格局提供了可能; 将进一步揭示海面溢油的散射机制, 提高 SAR 海面监测溢油的精度和能力。

关键词: 微波后向散射; 激光扫描仪; 海面溢油; 溢油海面粗糙度; 乳化

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)02-0159-06

doi: 10.11759/hyxx20150927002

1 研究背景

石油进入海洋之后, 在海洋特有的环境条件下, 具有复杂的物理、化学和生物变化过程。这些变化有扩散、漂移、蒸发、乳化、光化学氧化分解、沉积以及生物降解等等。石油的理化特性与其溢入海洋环境中的变化, 使其在海面上有着与其他物质不同的情形, 即溢油在海面上形成了非均匀分布的情形——中间部分比边缘部分厚, 类似薄透镜形状。油类入海以后基本是以乳化状态存在于海洋表面; 许多油类易于吸收水而形成油包水乳液, 体积会增加 3~4 倍。这种乳状液通常很黏, 不容易消散。多数油在任何海况下都能迅速形成乳状液, Berridge^[1]认为其稳定性依赖于沥青质的含量。蒸发、光氧化这两个过程会促使乳化过程。由于吸收大量的水, 乳化可使油的性质发生很大变化, 它很大程度地影响溢油的蒸发、扩散、生物降解等。乳化过程平常还使溢油清除工作更困难, 妨碍了大多数机械回收设备的有效操作^[2]。乳化过程的研究将有利于提高微波海面观测溢油的精度, 为模式模拟溢油漂移扩散方向以及溯源、估计油膜厚度、研究溢油面积和溢油量提供最佳参数。我们利用遥感手段监测到的溢油基本上是以乳化状态存在的, 所以研究溢油乳化过程对后向散射机制的影响, 有助于提高海面遥感溢油

灾害监测的准确度, 对海面溢油应急工作制定有效计划、决策和优化清除操作都具有重要意义。

近 30 年来, 许多国家都开展了溢油检测实验。实验分为两类: 室外实验和室内实验。室外实验是在海面上人为地铺设溢油, 使用空载或海基遥感设备进行监测。室内实验通常是在实验室中搭建风浪水槽。国外: 荷兰 1971 年 TNO 实验室在挪威海岸建立了基于非相参脉冲系统的观测站, 使用红外传感器和空载侧视雷达对海面风浪和溢油现象进行测量。除此之外, NIWARS 在室内建立了风浪水槽, 该水槽长 100 m, 宽 8 m, 高 0.5 m, 用于模拟风对水面的作用^[3]。1992 年德国汉堡大学海洋学研究所也开展了大量的研究工作, 在北海沿岸海面上铺设了轻质燃油和重燃油, 分别使用 4 个波段(X, C, S, L)空载散射计对溢油进行了测量, 并研究了实验测量的海水溢油散射比与理论值的差异。同样地, 在实验室中建立了尺寸稍小的风浪水槽, 长 26 m, 宽 1 m, 高 0.5m。Werner Alpers 等^[3]在此基础上展开了大量的研究。

收稿日期: 2015-09-27; 修回日期: 2015-11-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41576032, 41176160)

[Foundation: Supported by General Program of National Natural Science Foundation of China (41576032; 41176160)]

作者简介: 过杰(1965-), 女, 河南开封人, 理学博士, 副研究员, 主要从事海洋遥感与数字模拟(风场, 海面溢油)、微波遥感应用研究, 电话: 0535-2109192, Email: jguo@yic.ac.cn

国内: 1986年浙江大学无线电系的吴坚在 Bahar 将全波法用于分析两层介质粗糙截面电磁传播问题的基础上, 推导了三层介质结构的粗糙截面辐射波散射场。并在理论上证明了油膜的存在对散射系数的改变不起主要作用, 而主要贡献是对海面粗糙度的改变引起散射的变化^[4]。1987年中国科学院南海海洋研究所在三层介质微波辐射的基本原理下, 分析计算了各介质和环境参数对油膜厚度的影响大小, 并以此为依据探讨了确定各参数的方法, 在露天水池使用辐射计对 14 号机油进行了测试。研究了油膜有效发射率亮温差和油膜厚度的关系, 并对其它工作参数做出估计。随后于 1989 年在海南下川岛以西海面进行了海上溢油实测, 在海面上铺设了总量为 4.3 t 的轻柴油。使用飞机作为平台, 搭载了 8 mm 微波辐射计对海面溢油亮度温度进行测量^[5]。国家海洋局第一海洋研究所在实验室条件下, 利用“灰体室”的环境条件及测量方法, 测试了原油、燃料油和食用植物油膜的微波发射率与油膜厚度之间的关系。为减小背景辐射的影响, 灰体室内由均质铝板构成, 尺寸为 5 m×2 m×2.9 m 辐射计固定在灰体室上方, 可以改变位置与入射角。同时设计了长 38 cm, 宽 25 cm, 高 12 cm 的铝制样品槽^[6-7]。电子科技大学于 2007 年分别建立起了室内和陆基散射测量系统, 并在此基础上做了大量研究, 室内试验在半微波暗室中进行, 地面和侧墙上都铺设了吸波材料。实验中通过计算机控制步进电机使天线在半圆轨道上运动, 满足不同入射角的测量。试验中使用的 4 个波段(L, S, C, X)天线均为喇叭天线。2 个天线相邻放置, 可同时进行 4 种极化(HH, VV, HV, VH)的散射测量。矢量网络分析仪产生扫频电磁波信号并通过同轴线传输到天线进行测量。在仿真海面溢油散射测量实验中, 样品盆中用海水素配出满足真实条件的盐水, 使用可调速的吹风机模拟海风, 通过在水面上洒油来模拟海面溢油。目前已在室内测量过不同波段、不同极化、不同风速风向、不同水面溢油覆盖情况下的海水表面散射系数, 得到了一定的研究成果^[3]。

在溢油乳化过程研究方面: 溢油乳化过程是和油的物理化学因素及动力因素有关, 目前国内外公认的结论是: 沥青质、胶质和蜡对乳化物的形成起作用, 并且其影响的大小以这种次序减小。Thingsted 等^[8]通过实验发现蒸发和光氧化促使溢油乳化。波浪决定油水混合方式并提供能量, 但目前的技术尚不能确定乳化开始时所需的最小能量。Payne 等^[9]对

Alaskan 原油的研究发现乳化物能在冰区形成, 这表明在低能量环境下也有足够的能量产生乳化过程。由于高温有利于油水混合, 可加速乳化物的形成, 但低温抑制水滴的凝聚, 因而有利于乳化物的稳定; 温度影响沥青质的溶解/沉积状态, 因此有时在较低温度时, 有利于乳化的形成; 温度通过影响蒸发快慢, 也影响溢油乳化的趋势。由此可见, 不同情况, 温度有不同的影响^[10]。但在海水温度范围内, 温度的影响不很重要^[2]。Omar 等^[11]通过实验和现场观察发现油层油膜越薄越有利于乳化。溢油周围的油膜厚度比中心处薄, 因而更易乳化。海面的溢油能使波平静, 所以从外面到油层的中心, 乳化过程逐渐变慢。对于溢油乳化研究者来说, 乳化物最重要的性质是其稳定性、黏性、密度。Finas 等^[12]和 McMahon 等^[13]认为水含量与稳定性之间并不存在好的相关性; 用含水率判断稳定性不可靠。杨庆霄等^[14]通过观察实验研究了海上溢油在破碎波作用下的乳化作用。

李杨等^[3]设计了一系列室内模拟海面溢油散射实验和海港真实海面溢油散射实验; 在室内试验中, 使用不同波段不同极化电磁波对水槽中的溢油样品进行了不同厚度不同风速与风向的散射测量。在海港溢油散射式样中, 采用不同波段不同极化电磁波对海水在不同风速情况下的散射系数进行了测量, 并在海面上铺设柴油样品, 模拟真实海面情况下的溢油, 建立了海面溢油双尺度模型, 该模型油膜粗糙度是通过蒙特卡罗法仿真获得的。他们将其与模型模拟结果进行对比, 验证了模型的适用性。但是, 该研究没有实现溢油乳化过程对海面粗糙度的测量。

2 研究的意义

综上所述, 尽管国内外学者对海面溢油的物理化学性质有了一定的研究成果, 电磁理论的迅速发展及室内室外散射模型的模拟, 为微波遥感监测海面溢油奠定了坚实的基础。然而, 对于海面溢油的散射机制是体散射还是其他散射形式至今没有定论; 乳化过程作为贯穿海面溢油的主要过程, 在微波遥感海面溢油监测中, 单极化和双极化 SAR 是无法识别的, 只有全极化 SAR 利用散射矩阵的特征量目前能识别乳化油膜和新出现的油膜, 进一步的信息无法获得。SAR 在监测海面溢油量、油膜厚度及油品方面还没有新的进展。综述室内外实验我们可以发现, 油膜的存在对散射系数的改变不起主要作用, 而主要贡献是油膜对海面粗糙度的改变引起散射的

变化。由于缺乏精密的观测海面油膜粗糙度变化的仪器, 所以对于海面油膜的乳化过程对后向散射的影响一直没有进一步的进展。随着激光技术的发展, 国内近十几年许多学者运用激光技术于海面风场研究^[15-20]。中国海洋大学李晓龙等^[21], 赵朝方等^[22]系统介绍多通道海洋激光雷达溢油监测系统的硬件结构和高台实验, 探讨多通道激光雷达探测溢油的可行性; 获得多种目标的雷达信号, 并提取不同目标的特征荧光光谱。通过实验室激光诱发油样本的荧光数据分析, 研究了不同溢油种类的荧光光谱特征, 并给出了区分溢油污染程度的快速分析方法。实验证明多通道海洋激光雷达溢油监测系统性能可靠, 可以有效地进行溢油探测。官晟等^[23], 陈澎^[24], 丁宁^[25]等利用激光雷达荧光光谱研究海面油膜特征, 以实现准确快速识别海面溢油。激光扫描仪以其高分辨率的毫米-厘米尺度观测海面粗糙度的变化, 为海洋遥感监测灾害事件研究开辟了新的领域。国外学者 Jack 等^[26] 利用激光扫描仪观测海面冰的粗糙度变化与微波后向散射截面建立关系, 成功地识别冰龄(一年冰和多年冰)和冰的种类; 他们研究工作的成功为我们利用二维激光观测溢油粗糙度变化分别与溢油参数、微波后向散射系数建立关系来构建海面溢油散射模型提供了有力的支持。凡是能精确测量目标信号强度的雷达, 都可以称之为散射计。所以, 大多数雷达在校准之后, 都能作为散射计使用。而且, 微波散射计原理和设计跟常规雷达基本相同^[27]。所以, 本研究的完成将提高 SAR 在我国海面溢油监测方面的精度, 扩展 SAR 在海面溢油监测的功能(例如: 海面溢油量、油膜厚度计油品的形状分布)。为海面溢油预警和预报提供准确的溢油参数。

本研究将以国内外相关基础, 以 SAR 海面溢油存在的 3 个方面急待解决的问题: 海面粗糙度对溢油特征参数的响应特征分析; 乳化过程海面粗糙度的变化对后向散射系数的影响; 溢油参数对后向散射系数的影响为主要内容, 以二维激光观测的溢油粗糙度, 实验观测的溢油参数、散射计观测后向散射截面数据为基本资料源, 结合统计回归方法, 进行海面粗糙度对溢油特征参数的响应特征分析, 海面溢油粗糙度的后向散射特征分析; 耦合溢油特征参数与后向散射的关系; 利用电磁散射数值建模技术, 构建海面溢油散射模型, 进一步研究溢油海面散射机制。

3 工作原理及技术路线

海面溢油抑制海面毛细重力波从而引起后向散射系数变化; 激光扫描仪以其高分辨率的毫米-厘米尺度观测海面油膜粗糙度的变化; 利用这两种仪器的观测结果, 建立油膜粗糙度与后向散射系数之间的关系, 从而搭建油膜厚度与后向散射系数之间的关系, 实现主动微波探测油膜厚度的突破。

研究以室外泼油实验为主, 有散射计和二维激光扫描仪等主要实验设备参与实验, 实验以含沥青质和胶质的原油和燃料油为重点材料构建实验系统, 建立溢油乳化过程的散射模式。研究技术路线如图 1 所示。

4 分析过程

4.1 建立海面粗糙度与溢油特征参数的对应关系

溢油特征参数包括风速、油品、溢油量、油膜厚度、溢油分布格局。利用实验的观测数据, 结合统计回归方法, 建立溢油量、油膜厚度、溢油分布格局

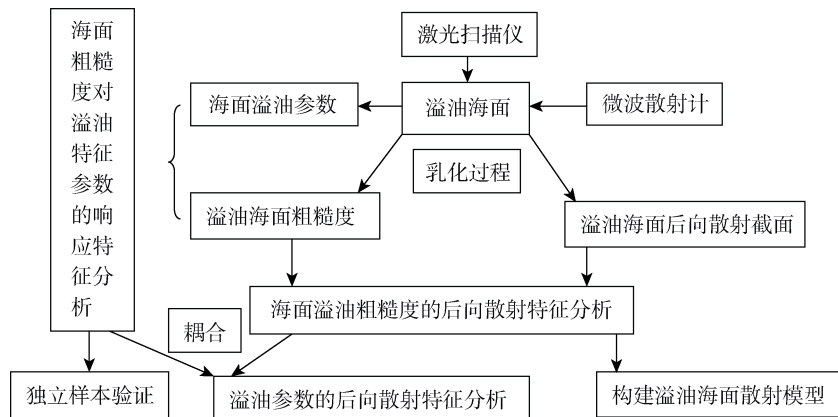


图 1 技术路线

Fig. 1 Technical route

与其油膜粗糙度的对应关系。

4.2 建立海面溢油粗糙度与后向散射系数之间的关系, 构建海面溢油散射模型

利用实验观测数据, 结合谐波函数分解和统计回归方法, 建立溢油粗糙度与其后向散射系数的关系。传统二尺度散射模式的海面粗糙度参数是通过模式模拟获得; 此研究将利用二维激光扫描仪观测油膜粗糙度参数并代入二尺度散射模型, 同时与以上拟合结果对比, 利用电磁散射数值建模技术, 构建海面溢油散射模型, 考虑不同油膜厚度对后向散射系数的影响, 进一步研究海面溢油的散射机制。

4.3 耦合溢油特征参数与其后向散射系数的对应关系

基于 4.1 和 4.2 的溢油特征参数与其对应的后向散射系数进行耦合; 利用构建的实验系统, 重新观测一批数据; 在不同波段、不同风速条件下, 对于不同油品, 在时间间隔 0.5 h, 拍摄不同时刻的溢油面积及格局分布, 计算不同时刻的油膜厚度; 记录油膜厚度、油量、油膜分布格局与其对应的粗糙度变化和后向散射系数。验证 4.2 的结论和耦合的结论, 对比其优劣。此结果将为 SAR 监测海面溢油量、油膜厚度及根据油膜分布格局判断油品提供了可能性, 为准确、多方位的监测海面溢油提供实验数据支持。

5 存在的问题

5.1 溢油海况下构建乳化过程海面粗糙度与溢油参数的对应关系

不同风速条件下, 溢油海面粗糙度与溢油量、油膜厚度及不同油品分布格局是怎样一种对应关系, 目前尚不清楚。利用遥感手段对不同油品的分布格局分析存在风险。

5.2 溢油海况下构建乳化过程海面粗糙度与微波后向散射系数的关系

石油溢入海洋之后, 在海洋特有的环境条件下, 经历了复杂的物理、化学和生物变化过程, 其中乳化过程一直贯穿始终, 它对微波后向散射截面有显著的影响; 乳化因为油类易于吸收水而形成油包水乳化液, 体积会增加 3~4 倍。这种乳状液通常很黏, 不容易消散。多数油在任何海况下都能迅速形成乳状液, 其稳定性主要依赖于沥青质和胶质的含量。但是, 溢油乳化状态溢油粗糙度与后向散射影响是怎样的

关系, 目前没有解决。因此, 需要建立二维激光观测的溢油粗糙度变化与微波后向散射的对应关系, 构建海面溢油散射模型。现有的微波散射对于海面发生溢油, 散射机制由布拉格散射变成非布拉格散射, 这是目前公认的, 有些学者认为是体散射, 但目前并没有定论。通过构建的海面溢油散射模型将进一步研究溢油海面的散射机制。

5.3 溢油海况下构建乳化过程微波后向散射系数与溢油参数的对应关系

不同波段、不同风速条件下, 溢油参数与后向散射系数之间的对应关系目前尚不清楚; 该研究将有助于扩大 SAR 海面溢油监测功能(如: 溢油量、油膜厚度及不同油品分布格局), 进一步提高海面溢油 SAR 监测的精度。

6 发展及应用

利用激光扫描仪的精度, 观测溢油海面粗糙度变化与溢油特征参数建立响应; 运用激光扫描仪的精度, 观测溢油海面粗糙度变化与微波后向散射系数建立关系, 构建海面溢油散射模型; 对溢油参数的后向散射特征分析, 使溢油量、溢油厚度和溢油分布格局与后向散射系数建立对应关系, 使 SAR 监测海面溢油量、油膜厚度及根据油膜分布格局来识别油类成为可能, 将进一步提高 SAR 监测海面溢油的能力和精度, 同时为多种传感器联合监测海面溢油成为可能。

7 结束语

传统的海面溢油研究多集中于单极化 SAR 数据, 用自动或半自动神经网络算法或用多尺度图像分割和模糊逻辑算法来识别油膜; 全极化卫星发射, 利用一致函数来识别海上溢油已成为现实。但是这些方法仅仅局限于油膜识别研究, 而对于溢油发生后, 油膜厚度、形状及乳化的油膜对后向散射系数的影响研究甚少。本研究将突破主动微波传感器的局限性, 结合激光扫描仪来研究溢油乳化过程, 构建乳化过程海面粗糙度与溢油参数的对应关系, 建立油膜粗糙度与后向散射系数之间的联系, 构建溢油散射模型。使 SAR 在监测海面溢油方面, 从溢油的厚度及溢油量进行突破; 这一设想无论从理论还是从实践上都是可行的。

参考文献:

- [1] Berridge S A, Dean, Fallows R G, Fish A. The properties of persistent oils at Sea [J]. Journal of the Institute

- of Petroleum, 1986, 54: 300-309 .
- [2] 严志宇, 许海梁. 溢油乳化过程的研究进展[J]. 交通环保, 2002, 23(2): 1-6.
Yan Zhiyu, Xu Hailiang. Review of the studies on emulsification of spilled oil[J]. Environmental Protection in Transportation, 2002, 23(2): 1-6.
- [3] 李杨. 基于实验的海面溢油微波散射特性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
Li Yang. Research on microwave scattering properties of oil spill based on experimental method [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.
- [4] 吴坚. 油膜污染海面微波后向散射研究[J]. 电波科学学报, 1986, 3(1): 32-44. DOI: 10.13443/j.cjors.03.003.
Wu Jian. Research on microwave backscattering of sea-surface with oil slick[J]. Chinese Journal of Radio Science, 1986, 3(1): 32-44. DOI: 10.13443/j.cjors.03.003.
- [5] 杨跃忠, 卢桂新, 钟其英, 等. 航空遥感测量海面油膜厚度的研究[J]. 环境遥感, 1998, 8(3): 222-231.
Yang Yuezhong, Lu Guixin, Zhong Qiyong, et al. A study on measuring the thickness of oil film on the sea by airborne remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment China, 1998, 8(3): 222-231.
- [6] 郑全安, 孙元福, 逢爱梅, 等. 水面油膜微波辐射特性实验室测量与物理机制研究[J]. 海洋学报, 1988, 10(6): 757-763.
Zhen Quanan, Sun Yuanfu, Pang Aimei, et al. The surface oil film microwave radiation characteristics of laboratory measurement and physical mechanism research[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1988, 10(6): 757-763.
- [7] 逢爱梅, 孙元福. 水面油膜微波辐射特性实验室测量与分析[J]. 海岸工程, 2003, 4(22): 36-41.
Pang Aimei, Sun Yuanfu. Laboratory measurement and analysis of microwave radiation characteristics of oil slick on water surface[J]. Journal of Coastal Engineering China, 2003, 4(22): 36-41.
- [8] Thingsted T, Pengerud B. The formation of chocolate mouses from statfjord crude oil and seawater[J]. Marine Pollution Bulletin, 1983, 14: 214-216 .
- [9] Payne J R, Philips C R. Petroleum spills in the marine environment the chemistry and formation of water in oil emulsions and tar balls [R]. Lewis, Chelsea Michigan, 1985.
- [10] Bora M A. Water in oil emulsification: a physicochemical study [C]//International Oil Spill Conference, Washington D C: American Petroleum Institute, 1991: 483-488.
- [11] Omar A E, Desouky S M, Karama B. Rheological characteristics of saud-crudi crude oil emulsions [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 1991, 6: 149-160.
- [12] Finas M F, Dielbous B, Gamble L. Studies of water in oil emulsions; Stability classes and measurement[C]//Proceedings of the 17th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Ouawa: Environment Canada, 1995: 21-42.
- [13] McMahon A J. Interfacial aspects of water in crude oil emulsion stability, emulsions: A fundamental and practical approach[R]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1992: 35-156.
- [14] 杨庆霄, 赵云英, 韩见波. 海上溢油在破碎波作用下的乳化作用[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(2): 3-8.
Yang Qingxiao, Zhao Yunying, Han Jianbo. Emulsification of oil spills into the sea by breaking waves[J]. Marine Environmental Science, 1997, 16(2): 3-8.
- [15] 胡洪伟, 胡企铨. 激光雷达对大气风场的光束扫描及风场反演[J]. 应用激光, 2000, 20(5): 213-275.
Hu Hongwei, Hu Qiquan. The scanning and inversion method of atmosphere wind by doppler lidar[J]. Applied Laser, 2000, 20 (5): 213-275.
- [16] 蒋立辉, 庄子波, 李勇. 基于单激光雷达的低空风场反演与精度分析[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(增刊): 252-256.
Jiang Lihui, Zhuang Zibo, Li Yong. Accuracy analysis for low for low attitude wind retrieval based on single lidar[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(Supplement): 252-256.
- [17] 王改利, 黎平, 丘崇践, 等. 多普勒激光雷达风场反演方法研究[J]. 大气科学, 2010, 34(1): 143-153.
Wang Gaili, Li Ping, Qiu Congjian. A study of wind field retrieval from doppler lidar observations [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2010, 34(1): 143-153.
- [18] 沈法华, 王忠纯, 刘成林, 等. 米氏散射多普勒激光雷达探测大气风场[J]. 光学学报, 2010, 30(6): 1537-1541.
Shen Fahua, Wang Zhongchun, Liu Chenglin. Measurement on wind field with Mie doppler lidar [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(6): 1537-1541.
- [19] 胡琦, 李元祥, 宋金泽, 等. 基于多普勒激光雷达的风场预测[J]. 激光与红外, 2012, 42(3): 268-273.
Hu Qi, Li Yuanxiang, Song Jinze. Application of Doppler lidar data in wind forecasting[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(3): 268-273.
- [20] 陈玉宝, 高玉春, 刘秉义, 等. 基于切比雪夫方法的多普勒激光雷达高空风场垂直探测精度的评估分析[J]. 热带气象学, 2014, 30(2): 327-344.
Chen Yubao, Gao Yuchun, Liu Bingyi. The assessment and analysis of the upper wind data measured by the Doppler lidar based on the chebyshev approaching function[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2014, 30(2): 327-344.
- [21] 李晓龙, 赵朝方, 齐敏珺, 等. 多通道海洋激光雷达溢油监测系统高台实验分析[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 8: 145-150.
Li Xiaolong, Zhao Chaofang, Qi Minjun. The experiment of multi-channel oceanographic laser remote sensing of oil spills system at high platform[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(8): 145-150.
- [22] 赵朝方, 李晓龙, 马佑军. 多通道海洋荧光激光雷达溢油监测系统[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(7):

- 1263-1269.
Zhao Chaofang, Li Xiaolong, Ma Youjun. Multi-channel ocean fluorescence lidar system for oil spill monitoring [J]. *Infrared and Laser Engineering*. 2011, 40(7): 1263-1269.
- [23] 官晟, 吴东, 张博, 等. 海洋激光荧光雷达海面油膜种类鉴别研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(2): 305-311.
Guan Sheng, Wu Dong, Zhang Bo, et al. Studies on distinguishing oil on surface of ocean by ocean fluorescence lidar[J]. *Journal of ocean university of Qingdao*, 2002, 32(2): 305-311.
- [24] 陈澎. 机载激光荧光海上溢油信息提取与反演研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.
Chen Peng. Study on oil spills information extraction and inversion with airborne laser-induced fluorescence on the sea[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2012.
- [25] 丁宁. 激光雷达探测海面油荧光信息提取研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Ding Ning. The Research for Detecting the Information of oil spills on the sea surface by using fluorescence lidar[D]. Qingdao: University of China, 2009.
- [26] Landy J C, Isleifson D, Komarov A S, et al. Parameterization of Centimeter-Scale Sea Ice surface roughness using terrestrial LiDAR [J]. *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*, 2014, 53(3): 1271-1286.
- [27] 舒宁. 微波遥感原理[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000: 23.
Shu Ning. *Microwave Remote Sensing Principle* [M]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology of Surveying And Mapping Publishing House, 2000: 23.

Scattering model research based on two-dimensional laser observation of spilled oil and emulsification processes

GUO Jie¹, MENG Jun-min², HE Yi-jun³

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration (SOA), Qingdao 266061, China; 3. School of Marine Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Received: Sep., 27, 2015

Key words: microwave scattering cross section; laser scanner; oil spill of sea surface; roughness of oil film; emulsification

Abstract: Synthetic aperture radar (SAR) is an effective microwave sensor to detect oil spills, which can image ocean surfaces during the day and night with high resolution and over large coverage areas independent of cloud cover. SAR plays an increasingly important role in oil spill disaster emergency monitoring of the sea surface. Oil spill detection using SAR images relies on the fact that oil slicks decrease the sea surface back-scatter of capillary-gravity waves, which result in a dark formation that contrasts with the brightness of the surrounding spill-free sea. However, the emulsifying processes of the sea surface oil spill directly affects the observational precision of the scattering cross-section in SAR. This project will be based on physical oceanography, the principle of lasers, and the sea surface electromagnetic scattering theory. Using a laser scanner, observing the sea surface roughness of an oil spill can establish a corresponding relationship with the characteristic parameters of oil spills and the scattering coefficient. We experimentally coupled the relationship between the characteristic parameters of oil spills with the scattering cross-section. Using electromagnetic scattering, numerical modeling sets up the sea surface scattering model of oil spills and allows the study of the influence of the oil spill emulsifying process on the scattering cross-section. This project will provide the possibility to monitor oil spill volume, thickness and distribution pattern by SAR. It will further reveal the sea surface scattering mechanisms of oil spills and improve the accuracy and ability of monitoring oil spills by SAR.

(本文编辑: 张培新)