



全球海面油膜遥感

刘建强

自然资源部国家卫星海洋应用中心, 北京 100081

E-mail: jqliu@mail.nsoas.org.cn

Remote sensing of oil slicks in global oceans

Jianqiang Liu

National Satellite Ocean Application Service, Ministry of Natural Resources of China, Beijing 100081, China

E-mail: jqliu@mail.nsoas.org.cn

doi: [10.1360/TB-2022-0692](https://doi.org/10.1360/TB-2022-0692)

海面浮油是海洋生态环境监测的重点对象, 具有来源复杂、种类多样、分布广泛、危害巨大、频次趋多等特点. 人为来源的海面浮油是由各种船舶、钻井平台、海底管道、港口码头等的溢油事故或排放造成(oil spills), 天然来源的海面浮油主要是海底油气藏的烃渗漏产生(natural hydrocarbon seepage)^[1-5]. 在海洋环境动力作用下, 溢油(oil spills)会经历扩散、乳化、蒸发、溶解、光化学氧化、吸附沉淀等一系列风化迁移过程, 在海面形成复杂多样的溢油污染类型, 主要包括不同厚度的海面油膜(oil slicks)、不同类型(油包水状、水包油状)和浓度的乳化溢油(oil emulsions, water-in-oil/oil-in-water emulsions)^[5-7]; 天然烃渗漏会上浮到水面形成薄油膜^[3], 也会形成近海表气态烃富集^[4]. 海面浮油的空间分布广泛, 港口码头、钻井平台、主要航道上均有分布, 以原油及乳化溢油对海洋生态环境的危害最大; 随着人类海洋经济活动的不断增强, 海洋溢油事件发生频次逐渐增多, 需要精细化监测与评估^[6-9]. 利用卫星遥感技术, 实现全球海面浮油的精细、动态、定量监测, 在海洋环境保护、海洋防灾减灾、海洋权益维护等方面, 具有重要的科学意义与社会价值.

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)与光学遥感是目前较为成熟的海面浮油监测技术, 具有不同的遥感机理、不同的监测效能、不同的应用定位^[6-10]. 漂浮在海面上的不同溢油污染类型, 如不同类型和浓度的乳化溢油、不同厚度的海面油膜、甚至天然烃渗漏的薄油膜(oil slicks或hydrocarbon seepages), 都能显著调制海面毛细波和短重力波, 降低海面粗糙度, 减弱溢油海面对卫星微波雷达信号的后向散射, 从而可被SAR无差别探测. 此外, 海面低风速区、上升流区等也具有低表面粗糙度特征, 这些干扰目标和溢油目标

在SAR影像上都呈现出相似的“暗像元”图像特征; SAR遥感监测结果为“海面疑似油膜(look-alike oil slicks)”, 需要结合其他辅助知识, 提高SAR影像上海面疑似油膜的识别精度. 光学遥感对海面浮油的精细化监测, 利用溢油海面对太阳耀光的反射差异和不同溢油污染类型的反射光谱特征, 实现不同厚度海面油膜、不同类型和浓度乳化溢油的识别分类与定量估算, 但会受制于天气的影响^[8]. 需要明确的是, 海面油膜(oil slicks)这一术语在海洋溢油SAR遥感与光学遥感应用中, 表述的意义与理论背景差异明显: 前者是描述SAR影像上的目标图像特征(丝条状图像特征); 后者不仅包含了溢油光学图像特征, 更表达了其内涵的物理属性特征(类型与厚度). 随着海洋卫星遥感数据的不断积累, 云计算平台的日渐完善, 通过大数据时空分析, 可掌握全球范围内自然来源和人为来源海面浮油的分布特征、变化趋势和影响贡献. 对今后海洋生态环境精细化监测、评估和处置, 特别是利用中国海洋水色卫星和陆海雷达卫星, 开展我国近海溢油的精细化监测与评估, 具有重要意义.

2022年6月, 南京大学、美国南佛罗里达大学、佛罗里达州立大学的研究者, 利用Google Earth Engine(GEE)云计算平台获取、处理并分析了2014~2019年56万余景欧洲航天局Sentinel-1 SAR影像, 揭示了全球海面油膜分布、固定持续排放源清单, 以及人为来源与自然来源贡献比例等问题. 该研究成果发表于Science^[11]. 研究者发展了一种半自动化海面油膜识别、提取和分类框架, 通过GEE平台对Sentinel-1 SAR影像进行处理, 建立了全球10 m分辨率海面油膜微波雷达数据集. 对该数据集的分析研究表明, 全球约50%的海面油膜集中于距岸38 km海域内(图1(a)), 其聚集程度在不同海域分异显著, 其中爪哇海、南海、几内亚湾及其周边海域, 油膜覆盖

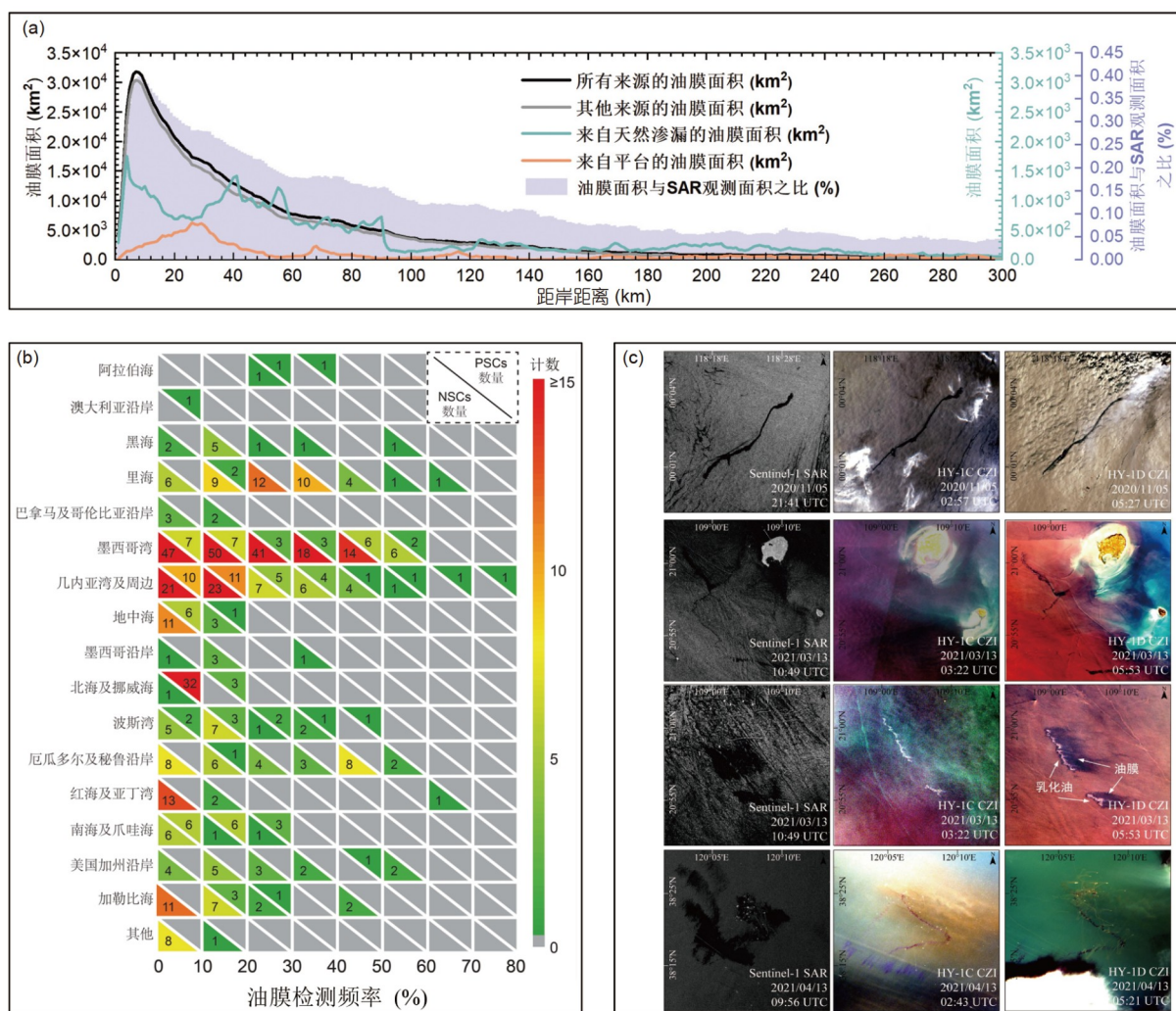


Figure 1 (Color online) Sentinel-1 SAR capture oil slicks in global oceans and comparison of oil slicks image characteristics between Sentinel-1 SAR and China HY-1C/D CZI images. (a) Oil slicks area histogram by their distances to the coasts (modified from Ref. [11]). (b) Heatmap of oil slicks detection rate around all the oil slicks aggregation centers (natural seep centers (NSCs) and platform slick centers (PSCs)) (modified from Ref. [11]). (c) Comparison of image features between Sentinel-1 SAR and HY-1C/D CZI true color images (R: 650 nm, G: 560 nm, B: 460 nm) which covered the different oil spills

密度最大。研究还观测到21条与海上航线高度吻合的高密度海面油膜分布带(图1(b)). 研究者基于海面油膜的空间聚集时序特征, 结合已有的全球海洋油气开发平台数据库、海底油气管道数据库^[12], 构建了海面油膜(含天然烃渗漏薄油膜、各类油气平台/管道排放形成的溢油油膜)持续固定排放源清单。结果发现, 全球海底天然烃渗漏有435处之多, 远高于以往报告的190处^[13]。此外, 新发现的137处是油气平台或油气管道泄露造成的油膜聚集中心, 在中国南海海域, 海洋石油开采运输等活动造成的溢油风险需要特别警惕。研究最后指出, 美国国家研究委员会在分析1990~1999年的全球海洋油膜数

据时,统计表明人为来源和自然来源的海面油膜比例分别为53%和47%^[14,15],最新微波雷达卫星遥感统计分析数据中,人为来源的海面油膜占油膜总监测面积的94%,天然烃渗漏油膜的占比下降到6%。这些结果揭示了过去20年来,人类活动导致的海洋溢油污染在大幅上升,人类活动是全球海面油膜的最主要来源,且被严重低估^[11]。

在深入推进我国生态文明建设过程中，防范海上溢油、危险化学品泄漏等重大环境风险，提升应对海洋自然灾害和突发环境事件能力，是国家高质量发展的具体要求，已明确写入《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年

规划和2035年远景目标纲要》，打造可持续海洋生态环境并深度参与全球海洋治理，已经成为国家重点规划目标。这项研究恰逢其时，对利用国产自主海洋卫星，开展中国近海及全球海洋溢油污染的精细化监测，具有重要的参考价值。

我国已建成海洋水色卫星、海洋动力环境卫星、海洋监视监测卫星等三大海洋卫星系列，实现了单一型号到多种型号、从试验应用到业务服务的跨越。海洋水色业务卫星——海洋一号C/D卫星(Haiyang-1 C/D)，2018和2020年发射后投入业务化应用，配置了适宜于海洋溢油污染精细化监测

的海岸带成像仪^[16-18]，双星组网能为中国近海提供3 d两次的观测数据(图1(c))；海洋监测监视卫星(陆海雷达卫星)星座中，2016年发射的高分3号卫星已运行多年，2021和2022年发射的1米C-SAR卫星正在测试，三星均配置了可用于溢油监测的SAR载荷。上述五星组网观测，加强可见光与微波雷达协同^[18]，构建国产自主卫星数据云服务平台，提升数据共享与云计算能力，必将为中国近海乃至全球海洋溢油污染的精细化监测与评估，提供可靠的技术方法与数据支撑，为构建全人类命运共同体贡献中国力量。

参考文献

- MacDonald I R, Garcia-Pineda O, Beet A, et al. Natural and unnatural oil slicks in the Gulf of Mexico. *J Geophys Res Oceans*, 2015, 120: 8364–8380
- McNutt M K, Chu S, Lubchenco J, et al. Applications of science and engineering to quantify and control the Deepwater Horizon oil spill. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012, 109: 20222–20228
- Hu C, Li X, Pichel W G, et al. Detection of natural oil slicks in the NW Gulf of Mexico using MODIS imagery. *Geophys Res Lett*, 2009, 36: L01604
- Bradley E S, Leifer I, Roberts D A, et al. Detection of marine methane emissions with AVIRIS band ratios. *Geophys Res Lett*, 2011, 38: L10702
- Leifer I, Lehr W J, Simecek-Beatty D, et al. State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill. *Remote Sens Environ*, 2012, 124: 185–209
- Lu Y, Shi J, Wen Y, et al. Optical interpretation of oil emulsions in the ocean—Part I: Laboratory measurements and proof-of-concept with AVIRIS observations. *Remote Sens Environ*, 2019, 230: 111183
- Lu Y, Shi J, Hu C, et al. Optical interpretation of oil emulsions in the ocean—Part II: Applications to multi-band coarse-resolution imagery. *Remote Sens Environ*, 2020, 242: 111778
- Hu C, Lu Y, Sun S, et al. Optical remote sensing of oil spills in the ocean: What is really possible? *J Remote Sens*, 2021, 2021: 9141902
- Li X, Li C, Yang Z, et al. SAR imaging of ocean surface oil seep trajectories induced by near inertial oscillation. *Remote Sens Environ*, 2013, 130: 182–187
- Zhang B, Perrie W, Li X, et al. Mapping sea surface oil slicks using RADARSAT-2 quad-polarization SAR image. *Geophys Res Lett*, 2011, 38: 415–421
- Dong Y, Liu Y, Hu C, et al. Chronic oiling in global oceans. *Science*, 2022, 376: 1300–1304
- Liu Y, Hu C, Dong Y, et al. Geometric accuracy of remote sensing images over oceans: The use of global offshore platforms. *Remote Sens Environ*, 2019, 222: 244–266
- Wilson R D, Monaghan P H, Osanik A, et al. Natural marine oil seepage. *Science*, 1974, 184: 857–865
- National Research Council. Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington DC: National Academies Press, 2003
- Kvenvolden K A, Cooper C K. Natural seepage of crude oil into the marine environment. *Geo-Mar Lett*, 2003, 23: 140–146
- Shen Y F, Liu J Q, Ding J, et al. HY-1C COCTS and CZI observation of marine oil spills in the South China Sea (in Chinese). *J Remote Sen*, 2020, 24: 933–944 [沈亚峰, 刘建强, 丁静, 等. 海洋一号C星光学载荷对海面溢油的识别能力分析. 遥感学报, 2020, 24: 933–944]
- Liu J Q, Lu Y C, Ding J, et al. Oil spills in China Seas revealed by the national ocean color satellites (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2022, 67: 3997–4008 [刘建强, 陆应诚, 丁静, 等. 中国海洋水色业务卫星揭示我国近海溢油污染状况. 科学通报, 2022, 67: 3997–4008]
- Lu Y C, Liu J Q, Ding J, et al. Optical remote identification of spilled oils from the SANCHI oil tanker collision in the East China Sea (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 3213–3222 [陆应诚, 刘建强, 丁静, 等. 中国东海“桑吉”轮溢油污染类型的光学遥感识别. 科学通报, 2019, 64: 3213–3222]