

文章编号: 1006-7736(2012)01-0097-04

# 基于多源遥感的海上溢油应急监测研究与应用\*

兰国新<sup>a</sup>, 李颖<sup>a,b</sup>, 李宝玉<sup>a,b</sup>, 刘丙新<sup>a</sup>

(大连海事大学 a. 环境信息研究所; b. 航海学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 提出雷达与光学数据协同下的溢油信息提取流程以及判别准则, 构建基于多源遥感信息的溢油应急协同架构. 该成果可为决策部门提供科学的数据源, 在大连新港 7.16 溢油清污中发挥了关键作用.

**关键词:** 海上溢油; 应急监测; 协同架构; 信息提取流程; 判别准则

中图分类号: TP79; X55

文献标志码: A

## Technology and application to marine oil spill emergencies with multi-source remote sensing

LAN Guoxin<sup>a</sup>, LI Ying<sup>a,b</sup>, LI Baoyu<sup>a,b</sup>, LIU Bingxin<sup>a</sup>

(a. Environmental Information Institute; b. Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

**Abstract:** A quick information extraction work flow was set up and the key information discriminate criteria in the data process and information extraction were proposed, and then a synergistic program for spill response with integration of multi-source remote sensing was constructed. The results can give scientific data source for decision-makers, which played a key role in oil pollution clearance in Dalian New Port 7.16 oil spill event.

**Key words:** marine oil spill; emergency monitoring; coordination architecture; information extraction work flow; discriminate criteria

## 0 引言

溢油大多属于突发性事故<sup>[1-2]</sup>, 应急反应和清污作业难度大、技术要求高, 需要特殊的关键技术给予支持. 遥感技术以其大范围获取数据, 获取信息速度快、周期短、受条件限制少, 获取信息手段多、信

息量大等特点, 在溢油应急反应中发挥越来越大的作用. 雷达数据如 ASAR/SAR, 光学传感器如 AVHRR/MODIS/HJ-CCD(HJ-中国环境减灾卫星), 微波辐射计、激光传感器以及红外传感器都具备监测溢油的能力<sup>[3-6]</sup>. 不同类型的传感器因谱段和探测机理不同, 各具优势, 如油种识别方面, 激发荧光技术借助不同油类产生的荧光强度和光谱信号强度差别进行油种区分<sup>[7]</sup>; 高光谱因谱段更精细, 可以识别油类的 C-H 特征峰, 表现出一定的潜力<sup>[8]</sup>; 油厚区分、溢油量估算等方面, 紫外-红外(UV/IR, 下同)组合可提供油膜的相对厚度信息; 激光荧光对 10~20 μm 厚度内的油膜具有探测能力; 微波受限于分辨率, 可探测 50 μm~mm 级厚度范围的油膜<sup>[9]</sup>. 中国学者虽然进入这一领域较晚, 但通过不懈努力和政策支持, 已经解决了溢油定位、面积估算、走势预测分析等几大问题<sup>[10-13]</sup>, 但在溢油厚度和油种识别方面还存在瓶颈. 大连海事大学研制的机载激光荧光探测系统已成功搭载于北海救助飞行队 B-7126 直升机上, 在攻坚油种识别上迈出了坚实的一步.

综合利用不同谱段的溢油监测信息成为一个共识. 天基遥感提供大尺度信息, 但受限于时空分辨率和大气影响, 搭载种类有限的传感器而更多用于战略性的常规监视, 如多数欧洲国家基于 ENVISAT ASAR 和 RADARSAT-1/2 数据建立监视系统; 空基遥感受限于窄视域和巡航频度, 搭载更多专用传感器, 如激光荧光计等更多用于现场验证及溢油应急, 德国集合 UV/IR 扫描仪、SLAR、微波辐射计(MWR)和激光荧光计执行海上应急监视. 2011 年, 大连海事大学承担的国家科技支撑计划项目课题“水上溢油遥感识别和监测技术”顺利完成, 该课题构建了航天

\* 收稿日期: 2011-09-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071260); 辽宁省教育厅科学研究项目(200912)

作者简介: 兰国新(1984-), 男, 哈尔滨人, 博士生, E-mail: feman7122@163.com

通信作者: 李颖(1968-), 女, 沈阳人, 教授, 博士生导师, E-mail: yldmu@126.com

遥感、航空遥感和船基遥感立体监测系统,在重视溢油识别与监测能力的同时,更侧重研究多源遥感在溢油应急响应体系中的关键作用。

本文旨在整合现有技术力量,构建适于我国现状的多源遥感协同框架,提高应急响应能力。

## 1 多源遥感溢油信息提取与协同方案

### 1.1 多源遥感技术溢油应急监测能力

#### (1) 天基遥感监测溢油技术

卫星遥感监测系统以多源卫星数据为支撑(表 1),整合多个单位卫星资源,并与卫星分发单位建立应急通道,极大缩短了数据获取时间,可实现 30 min 内数据获取。研究不同传感器波段对各类溢油信息的识别模式、方法和提取技术,建立多源卫星遥感溢油监测系统,自主研发溢油遥感图像处理软件——卫星溢油监测系统 V2.0.0,以雷达数据为例,支持如下功能:雷达图像边缘检测算法;基于图像纹理的自动检测算法;专题栅格地图生成;基于统计概率的像元油污面积评估;船只检测算法。通过该系统,可获得溢油分布、动态、油种、相对厚度等信息,实现溢油监测与清污监管联动。该系统空间多尺度分辨率覆盖达 0.5~1 km,时间分辨率达 0.5~1 d,应急响应时间达 2~6 h。

表 1 多任务地面站天基遥感数据简表

传感器名称	卫星名称	空间分辨率/m	幅宽/km	重访周 <sup>1</sup>
MODIS	Terra Aqua	250, 500, 1000	2300	1~2次/d
CCD	HJ-1A/B	30	360	4 d
HSI	HJ-1A	100	50	4 d
IRS	HJ-1B	150, 300	720	4 d
CCD	CBERS-01/02B	20	113	26 d
PAN	EROS A	2.0	13.5	3~4 d
PAN	EROS B	0.7	7.0	2.8 d
HAVIR XS	SPOT 4	20	60	1~4 d
PAN	IRS-P5	2.5	30	5 d
PALSAR	ALOS	7, ..., 100	20, ..., 350	2 d
SAR	RADARSAT-1	8, ..., 100	50, ..., 500	From daily to 6 d <sup>2</sup>
ASAR	ENVISAT	30, ..., 150	100, ..., 405	35 d replay

注:1. 重访周期(以中纬度地区为准);2. 依赖于成像模式(综合空间分辨率和幅宽)

表 2 空基传感器特征

	UV	VIS/NIR	IR	LFS
带宽/ $\mu\text{m}$	0.26~0.37	0.40~0.885	3.0~5.5, 5.5~12.5	0.355, 0.266 可选波长输出
溢油厚度敏感度/ $\mu\text{m}$	0.1~10	未确定	>10	0.1~20
油种识别能力	否	否	否	有
夜间运行	否	否	是	是
影响因素	云	云	云	云和飞行高度

1.2 基于多源遥感数据协同的溢油信息提取策略  
研究表明<sup>[14-15]</sup>,太阳耀光下,基于油膜对波谱的调制大大扩展了光学遥感监测溢油的能力;而应

#### (2) 空基遥感监测溢油技术

航空遥感集成小型化的机载激光荧光系统、机载多光谱溢油探测系统以及机载便携式红外成像探测系统,实现了油种鉴别、溢油量估算、厚度分区的关键指标探测(表 2)。其中小型化和低功耗的机载激光荧光溢油探测系统,可实时获取不同油种荧光光谱曲线,快速识别船舶运载的主要油种(原油、燃油、重柴油、轻柴油、机油等),已成功进行了机载实验;机载多光谱成像溢油探测系统可以同时获取溢油目标的紫外、可见光和红外波段的成像信息,一次性获取油污面积和相对厚度信息。

#### (3) 船基雷达溢油监测技术

在实现航海雷达导航和小目标探测基础上,拓展航海雷达溢油监测软硬件系统,硬件系统包括雷达信号输出设备、雷达信号采集卡;软件系统包括雷达图像采集和溢油信息识别模块,通过雷达接收的溢油海浪回波,经幅度分层及距离方位量化,采用基于纹理的算法实现对溢油目标的识别和信息提取,小目标探测距离可达 7~8 n mile。也可利用现有船舶导航雷达,在不改变雷达设置结构条件下拓展实现溢油监测,在夜间和雨雾等恶劣天气下保持监测功能。

用于溢油应急的 SAR 数据选择,更应考虑波段、极化方式、入射角等因素<sup>[16-17]</sup>,减少数据处理量。文献<sup>[18]</sup>提出基于雷达遥感的溢油判别准则,即信息判

别专家库以提高信息精度. 本文提出基于多源遥感数据协同的溢油信息提取策略(图 1), 可用于应急也可服务于固定海区 24 h 监视监测.

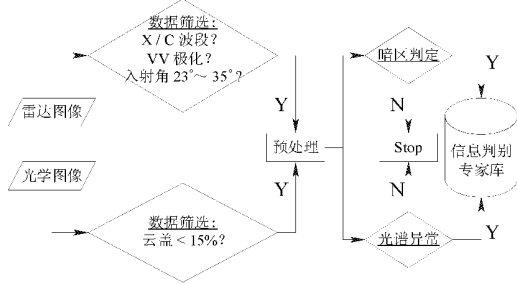


图 1 光学与雷达数据协同信息提取流程

**高置信(A):** 背景表面均质, 疑似斑块与背景海水存在较大灰度反差; 疑似斑块与船舶、石油平台邻近或可构成联系; 多时相协同数据存在疑似斑块, 且满足漂移规律; 事发海况条件, 风速级别中-高, 约为  $6\sim 10\text{ m/s}$  (适于雷达); 光学卫星观测角  $< 15^\circ$ , 且位于镜面反射区, 海面风速约为  $6\sim 10\text{ m/s}$ , 疑似斑块表现为银灰色膏脂状 (适于光学)。

**中置信(B):** 海面风速条件在  $6\sim 10\text{ m/s}$  时, 疑似斑块与背景海水灰度反差不明显 (适于雷达); 事发海况条件, 风速级别中-低, 约为  $3\sim 6\text{ m/s}$  (适于雷达); 疑似油斑不规则, 如边缘模糊不平滑 (适于雷达); 光学卫星观测角位于镜面发射区 (适于光学)。

**低置信(C):** 疑似斑块边缘呈弥散状且斑块不规则; 生物膜、藻类、条纹分散、破碎且位于近岸; 存在低风速区, 且位于近岸; 疑似斑块暗 (光学观测角  $< 15^\circ$ , 近于镜面反射角)/疑似斑块亮 (光学观测角  $> 40^\circ$ , 远离镜面发射角) (适于光学)。

### 1.3 溢油应急协同方案

本文建立的溢油应急协同方案架构如下:

(1) 数据平台. 大尺度平台: 天基雷达/光学传感器, 应急或战略性的常规监视; 中尺度平台: 空基热红外/激光荧光/紫外-红外多光谱扫描仪, 应急指挥或验证; 小尺度平台: 船基航海雷达、便携式热红外仪, 应急巡航。

(2) 应急协同方案. 天基雷达/光学传感器提供大区域信息, 定位疑似目标、面积; 空基热红外/激光荧光/紫外-红外多光谱扫描仪验证溢油目标并寻找外延, 确定油种、厚度分区; 船基雷达定航扫描, 实现地验证和恶劣天气监测。

## 2 应用案例与分析

文建立的基于多源遥感数据协同的溢油信息提取策略为本次成功实践提供了技术保障, 从应急启动、数据选择、信息提取、信息判别、决策支持等多个环节保证了数据的科学性. 由于数据量较大, 本文仅举例说明:

(1) 应急协同方案: 大连海事大学遥感监测专项组立即执行应急协同方案, 多源遥感监控频率保证  $\geq 1$  次/d (图 2), 实时获取现场溢油分布信息 (图 3、4). 图 4 监测结果表明, 大部分油膜着陆, 厚油膜基本控制在大连湾、大小窑湾内, 这是因为从事发至 7 月末, 目标区域一直以南风为主, 尽管存在西南向流的推力, 但是二者基本平衡, 有效抑制了油膜进一步南移, 监测结果与溢油轨迹吻合, 图 3 中油污面积为  $20\text{ km}^2$ , 说明清污工作在 7 月 27 日已经取得了阶段性的胜利。

(2) 数据选择方面: 定制 VV 极化方式的雷达数据, 判断 7 月 22 日与 7 月 24 日 RADARSAT-2 数据因入射角过大不利于监测; 7 月 23 日、7 月 25 日、7 月 27 日、7 月 28 日、8 月 2 日 HJ-CCD 数据云盖量满足要求, 均可用于事故监测。

(3) 信息提取与判别: 图 4(a)、(b) 在入射角、极化方式方面均满足溢油监测参数要求, 且暗区靠近溢油源, 灰度差大, 暗区符合高置信(A). 但是图 4(a) 当时海表面风速为  $2.3\text{ m/s}$ , 且部分疑似区域近岸 (图 iv、㉞区), 符合低置信(C) 条件, 故综合考量判断箭头标记处为高置信; 图 4(b) 当时海表面风速为  $5.2\text{ m/s}$ , 且疑似区域远离岸边, 斑块边缘规则, 符合高置信(A). 光学影像受天气影响较大, 但是图 4(c)、(d) 目标区域云盖符合要求, 疑似斑块为银灰色, 连续两景数据同时存在疑似区域且满足漂移规律 (符合高置信(A)), 故判断箭头所指处高置信. 监测结果均经过现场调查验证。

图 2 中, 天基遥感以 RADARSAT-2-ASAR/HJ-1A/B-CCD/COSMO-Skymed 为主, 空基遥感以热红外传感器为主, 船基遥感以 X 波段航海雷达为主。

## 3 结 语

基于数据选择基础上, 建立多源遥感信息提取流程, 提出多参量的专家知识库的信息提取策略, 构建以天基遥感、空基遥感、船基遥感为平台的三位一体溢油应急协同方案. 以大连新港 7.16 溢油事故为例说明本案的具体实践。

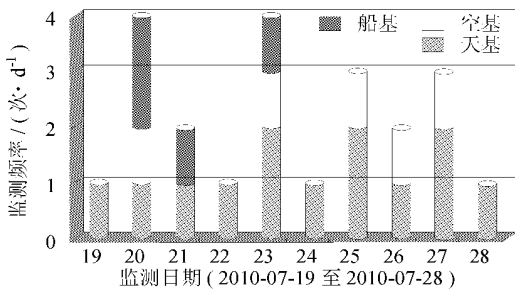


图 2 海上油污监测频率

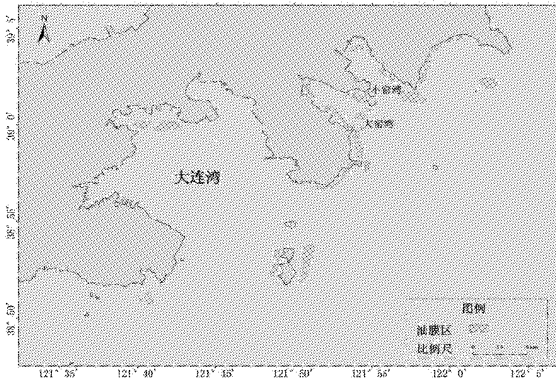


图 3 海上油污分布

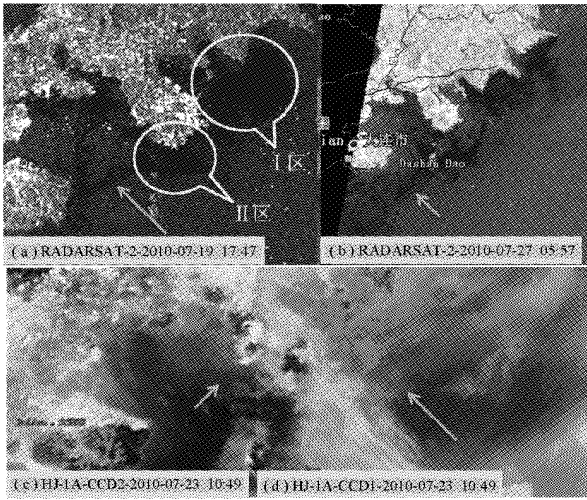


图 4 部分遥感数据示例(箭头所指处为溢油区)

参考文献(References):

[1] MCNUTT M, CAMILLI R, GUTHRIE G, et al. Assessment of low rate estimates for the Deepwater Horizon/Macondo well oil spill[R]. Flow Rate Technical Group Report to the National Incident Command. [ S. l. ]: Intergency Solutions Group, 2011.

[2] The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. [ 2010-12-31 ]. <http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/>.

[3] DIGIACOMO P M, WASHBURN L, HOLT B, et al. Coastal pollution hazards in southern California observed by SAR imagery: Stormwater plumes, wastewater plumes, and natural hydrocarbon seeps[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49(11-12): 1013- 1024.

[4] GADE M, ALPERS W. Using ERS- 2 SAR images for routine observation of marine pollution in European coastal waters[J]. Science of the Total Environment, 1999, 237/238: 441- 448.

[5] BREKKE C, SOLBERG A H S. Oil spill detection by satellite remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 95(1): 1- 13.

[6] SALISBURY J W, D'ARIA D M, Jr, SABINS F F. Thermal infrared remote sensing of crude oil slicks[J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 45: 225- 231.

[7] BROWN C, FINGAS M. A review of current global oil spill surveillance, monitoring and remote sensing capabilities[C]// Proc. 28th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Tech. Seminar Calgary, Canada: [ s. n. ], 2005: 789- 798.

[8] SALEM F, KAFATOS M. Hyperspectral partial unmixing technique for oil spill target identification[C]// XXth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Istanbul, Turkey: [ s. n. ], 2004.

[9] JHA M N, LEVY J, GAO Y. Advances in remote sensing for oil spill disaster management: state-of-art sensors technology for oil spill surveillance[J]. Sensors, 2008, 8(1): 236- 255.

[10] 于五一, 李进, 邵芸, 等. 海上油气勘探开发中的溢油遥感监测技术——以渤海湾海域为例[J]. 石油勘探与开发, 2007(3): 378- 383.

[11] 张永宁, 丁倩. 海上溢油污染遥感监测的研究[J]. 大连海事大学学报, 1999, 25(3): 1- 5.

[12] LI Ying, LAN Guoxin, LI Jijun, et al. Potential analysis of maritime oil spill monitoring based on MODIS thermal infrared data[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Cape Town: IEEE, 2009: 373- 376.

[13] 马龙, 李颖, 兰国新, 等. 基于可分离指数的溢油图像定量分析[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 262- 266.

[14] HU C, LI X, PICHEL G W, et al. Detection of natural oil slicks in the NW Gulf of Mexico using MODIS imagery[J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(1): L01604.

[15] GUILLEM C, YOLANDA S. The Multi-angle view of MISR detects oil slicks under sun glitter conditions[J]. Remote Sensing of Environment, 2007(107): 232- 239.

[16] 邹亚荣, 梁超, 陈江麟, 等. 基于 SAR 的海上溢油监测最佳探测参数分析[J]. 海洋学报, 2011, 33(1): 36- 44.

[17] NUNZIATA F, GAMBARDIELLA A, MIGLIACCIO M. On the use of dual-polarized sar data for oil spill observation[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Boston, MA : IEEE, 2008: 225- 228.

[18] SOLBERG A, CLAYTON P, INDREGARD M. D2 - C Report on benchmarking oil spill recognition approaches and best practice[R]. Ispra, Italy : European Commission, 2004