

基于 MODIS 与 HJ-1 多源卫星的上海海域溢油事故诊断

杨红, 杭君

(上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 随着上海港海上运输业和石油产业链的日趋发达, 海上溢油事故风险也随之加剧。本文就 2012 年发生在上海海域吴淞口和九段沙附近的 2 起重大溢油事故, 基于美国 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 中等分辨率 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 与国产“环境一号”卫星 HJ-1 的多源卫星数据, 对溢油信息进行对比, 通过对油水敏感通道进行波段比值运算, 突出油膜与背景海水的光谱反射率差异, 再结合重柴油光谱特征, 利用图像分割的阈值确定法, 从疑似溢油区域中有效提取溢油信息, 实现溢油区域定位、溢油面积和溢油量的诊断, 为事发后海域应急响应工作提供基础性分析依据。

关键词: 上海海域; 溢油; MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer); “环境一号”卫星 HJ-1; 图像分割

中图分类号: P407.8 文献标识码: A
doi: 10.11759/hywx20131104002

文章编号: 1000-3096(2014)10-0090-08

对海上溢油进行监测诊断, 最快捷高效的手段莫过于卫星遥感技术, 包括可见光、红外、微波和雷达技术。利用可见光传感器对海上石油污染进行监测在 20 世纪 60 年代末就已出现^[1], 光学传感器的逐步应用, 不但能有效定位溢油源, 还能确定污染面积、污染速度和扩散方向, 而雷达影像和高光谱数据更可以对溢油污染的油膜厚度和溢油体积进行监测, 还可以区分溢油污染的大致种类^[2], 但鉴于其受风速影响大、价格高昂、幅刈窄等因素, 对于大面积溢油污染的监测应用仍受到一定限制。

目前尚没有集探测、分类和定量评价于一体的海上油污监测的单一遥感技术, 所以综合运用不同遥感平台的不同波段组合方法来增强油膜特征信息, 可以有效缩短重访监测周期, 并能起到交互印证溢油信息提取方法有效性的作用, 是目前国际上认可的可满足实时监测近海油污的一种有效途径。

目前国内关于利用 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 及“环境一号”卫星 HJ-1 遥感影像进行溢油探测的研究较多, 得到广泛应用的中等尺度 MODIS 传感器卫星具有覆盖范围大、涉及波段范围广、获取成本低和时间更新频率高等优点^[3], 2009 年 Hu 等^[4]证实 MODIS 影像在贫营养和浑浊海水中具有更佳的溢油探测潜能, 并且只要利用纹理分析和图像分割方法就可以自动化描绘和量

化油膜信息(如油膜厚度等)。配合使用具有更高空间、时间和光谱分辨率的 HJ-1 卫星数据, 能综合运用可见光、红外与微波遥感技术, 实现大范围、全天候连续的溢油动态监测, 有效提升监测精确度^[5], 已经渐渐成为我国监测近海油污的一种经济、高效的常规手段。2010 年, 沈亮等^[6]通过对比不同时间段的 MODIS 和 HJ-1 卫星数据, 对墨西哥湾漏油面积变化和走向趋势进行监测, 结果显示该方法监测大面积溢油比较有效, 且利用多源遥感数据的结论信服力比单源数据更强。2011 年, 陆应诚^[7]基于 HJ-1 卫星 CCD (charge-coupled device) 数据的多种目标影像特征与光谱响应特征, 利用决策树分类方法有效提取了墨西哥湾溢油污染中的油水混合物, 对误判信息进行分块合并处理后, 进一步提高了油水混合物的提取精度。但此类方法对于特定卫星数据的油水特征通道相关性研究较少, 不能直接提取溢油区域影像, 且缺乏现场验证性。

本文基于不同时相的 MODIS(搭载在 Aqua 水色卫星上的 500 m 空间分辨率 MODIS 1B 数据)和

收稿日期: 2013-11-04; 修回日期: 2014-02-21

基金项目: 上海市海洋局海洋科研项目(沪海科学[2012]03); 上海市教委海洋环境工程重点学科基金项目(J50702); 上海海洋大学研究生科研基金(A-0209-13-0900016)

作者简介: 杨红(1962-), 女, 江苏无锡人, 教授, 主要研究方向为环境海洋学, 电话: 021-61900329, E-mail: hyang@shou.edu.cn

HJ-1A/B(30 m 空间分辨率 CCD1 数据)的多源卫星遥感解释影像,就 2012 年上海海域发生的 2 起溢油事故(吴淞口“通银 6”加油船进水沉没和九段沙“密斯姆”油轮碰撞溢油事故)进行案例分析,通过对现场油膜和海水进行光谱特征分析,加强多源卫星数据的油水敏感通道特征提取,利用图像分割的阈值确定法直接凸显溢油专题信息,最终交互验证油膜光谱特征分析方法的可行性,协助确认污染源,对油污面积、溢油量等信息进行基础性诊断分析,为溢油应急反应的指挥决策提供科学参考。

1 研究区域及数据

本文主要对 2012 年 5 月 18 日发生在上海海域吴淞口锚地和同年 6 月 25 日发生在九段沙附近的 2 起重大溢油事故的相关 MODIS 及 HJ-1 数据进行筛选处理。

1.1 事故概况

1.1.1 “通银”号加油船吴淞口沉船溢油事故

2012 年 5 月 18 日,装有 1 000 t 燃料油的“通银”号加油船在吴淞口 6 号锚地因风浪大进水而沉没,造成长兴岛南岸江面,即马家港码头前沿水域出现明显油污带(图 1a),且长江口的炮台湾水域及江南长兴船厂前沿水域都残留零星、小片油污。随着清污作业的进行,20 日左右现场大面积的油污已告清除,同时,根据本研究小组于 5 月 23 日赴事发现场的勘查情况,对比上海市海洋局现场水面勘查结果,证实了事故油种为重柴油。

1.1.2 “密斯姆”杂货船九段沙碰撞溢油事故

2012 年 6 月 25 日,在长江口九段沙附近的南槽航道 S10 灯浮南侧附近水域,“密斯姆”轮(总 7 878 t)与“竞帆 1”散货轮碰撞(图 1b),致使 60 多吨重质燃

料油泄漏入江,油污总面积约合 0.06 km²,且向事发地上游漂移了约 3 海里。截至 27 日,共清除江面含油污染物约 15 t。

1.2 遥感数据

1.2.1 MODIS 数据

本文采用搭载在美国国家宇航局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)对地观测卫星系统 EOS(Earth Observation System)中 Aqua 水色卫星上的 MODIS 中等尺度传感器 1B 数据进行诊断分析,产品编号为 MYD02,数据空间分辨率为 500 m。根据东方网、新民网、中国交通报、中国上海等官媒针对这 2 起溢油事故的相关报道^[8-12],对事发区域前后多天的 MODIS 原始数据进行了筛选,由于卫星覆盖事故区域多为云区遮挡,只选取如表 1 所示的 1 d 事故数据对“通银”加油船溢油事故进行解译分析。从 NASA 网上(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>)下载该数据后,还要利用 ENVI (the environment for visualizing images)遥感图像处理软件对其进行几何校正、辐射校正和去云处理等预处理和图像增强工作。

1.2.2 HJ-1 数据

本文同时将我国“环境一号”即环境与灾害监测预报小卫星星座的 2 颗光学小卫星 HJ-1A 和 HJ-1B 卫星的 CCD 多光谱数据^[5]进行对比分析,该卫星数据共有 4 个波段,依次是蓝光、绿光、红光和近红外波段,数据空间分辨率为 30 m,数据格式为 Geotiff。数据筛选原则与 MODIS 相同,最后选取如表 2 所示的 2 个时相的多光谱影像。从中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com>)下载的 L2 级数据,已经经过系统几何校正和地图投影,只需利用 ENVI 软件的 FLAASH 模块进行大气校正、区域裁剪及光谱方面的预处理即可。

表 1 溢油事故对应的 MODIS 研究数据

Tab.1 MODIS data of the oil spill accidents

| 事故名称 | 事发区域 | 时间 | 数据 | 空间分辨率 |
|----------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|-------|
| “通银”加油船吴淞口沉没事故 | (31°20'~31°22'N, 121°37'~121°39'E) | 2012 年 6 月 21 日 5 时 15 分 | MYD02HKM.A2012173.05 15.005.2012178130638.hdf | 500 m |

表 2 溢油事故对应的 HJ-1 研究数据

Tab.2 HJ-1 data of the oil spill accidents

| 事故名称 | 事发区域 | 日期 | 数据 | 空间分辨率 |
|-----------------|------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-------|
| “通银”加油船吴淞口沉没事故 | (31°20'~31°22'N, 121°37'~121°39'E) | 2012 年 5 月 21 日 | HJ1B-CCD1-451-76-201 20521-L20000776495 | 30 m |
| “密斯姆”轮九段沙碰撞溢油事故 | (30°59'~31°09'N, 122°05'~122°22'E) | 2012 年 7 月 3 日 | HJ1A-CCD1-451-78-20 120703-L20000802090 | 30 m |

2 研究方法

2.1 提取溢油信息

2.1.1 图像增强处理

为有效区分地物类型,更直观展现地貌及海域特征,首先需要对预处理后的遥感数据,进行彩色合成的图像增强处理,通过分析卫星各波段的相关性,选择 MODIS 数据的 1(650 nm)、2(860 nm)、3(469 nm)和 HJ-1 数据的 4(830 nm)、3(660 nm)、2(560 nm)波段进行 RGB (red-green-blue)假彩色合成^[13],通过经假彩色合成后的 HJ-1 卫星图像(图 2),可以清晰地识别海陆边界轮廓线及海岸带内的沉积淤泥、砂砾等自然地貌状况,且在溢油事发位置有明显暗灰色异常区域(如图 2 中红色方框区域所示)。

2.1.2 油水敏感通道特征提取

本文经过多次试验证明,将多光谱数据的溢油

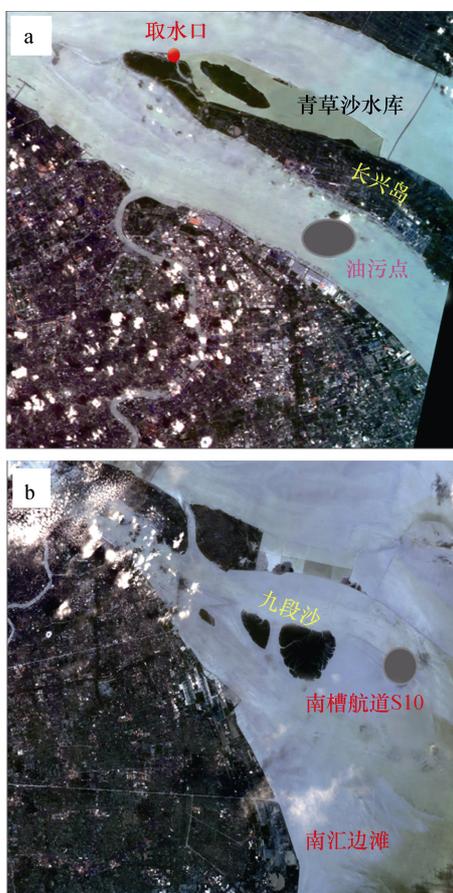


图 1 2012 年 5 月 18 日吴淞口锚地沉船事故溢油点(a)与 2012 年 6 月 25 日九段沙附近船舶碰撞事故溢油点(b)

Fig.1 Location of Wusong oil spill accident on May 18, 2012(a) and Jiuduansha oil spill accident on June 25, 2012



图 2 6 月 21 日 MODIS 数据 1(Rde)、2(Green)、3(Blue)波段假彩色合成影像(a)与 5 月 21 日 HJ-1B 数据 4(Red)、3(Green)、2(Blue)波段假彩色合成影像(b)

Fig. 2 Pseudocolor synthetic image of MODIS data, 1st, 2nd and 3rd band of which correspond to Red, Green and Blue, respectively on June 21 (a) and pseudocolor synthetic image of HJ-1B data, 4th, 3rd and 2nd band of which correspond to Red, Green and Blue, respectively on May 21 (b)

红色方框: 溢油事故事发区域

Red square: Location of the oil spill accidents

敏感通道与海水特征通道进行比值运算后的遥感影像,可有效凸显溢油专题信息。对溢油敏感通道的选取,主要是根据已知事故油种——重柴油的波谱特征^[14],由大连海事大学卫星遥感研究室在大连湾外海进行的油膜波谱特征测试试验结果^[15](表 3)可知,事故油膜的反射率应该为 0.55%~1.47%,再结合同属重油种的大庆原油反射率极值信息(表 4),可以发现近红外波段(1.003 μm 对应第 5 波段)反射率出现极大值 0.019,由此判断第 5 波段是 MODIS 数据溢油的敏感通道,第 1 波段数据作为 HJ-1 溢油的敏感通道;从李微等^[16]的不同地物的反射光谱特性曲线图 1 可以发现,水体的敏感通道在红光(0.6~0.8 μm)及

近红外部分(0.8~1.2 μm)部分, 反射率在 0.05~0.1 左右, 所以利用红光或近红外波段的数据都能有效区分油膜与海水, 但与第 5 波段区别, 本文则采用红光部分的第 1 波段数据作为 MODIS 海水的敏感通道, 第 3 波段数据作为 HJ-1 海水的敏感通道。

表 3 不同种类不同厚度油膜的反射率

Tab. 3 Reflectance of different kinds of oil films with different thickness

| 油膜厚度(μm) | 反射率(%) | | | |
|----------|--------|------|------|------|
| | 煤油 | 润滑油 | 轻柴油 | 重柴油 |
| 100 | 2.50 | 1.62 | 1.75 | 1.47 |
| 300 | 3.46 | 1.48 | 1.94 | 0.63 |
| 500 | 1.88 | 1.73 | 2.20 | 0.62 |
| 1000 | 1.94 | 1.92 | 2.12 | 0.60 |
| 1500 | 1.93 | 3.30 | 1.69 | 0.59 |
| 2000 | 1.87 | 2.19 | 1.78 | 0.56 |
| 2500 | 1.90 | 2.60 | 1.62 | 0.55 |

表 4 大庆原油不同光谱区域油膜的反射率极值

Tab. 4 Extreme reflectance of Daqing crude oil in different spectral regions

| 光谱区域类型 | 波长(μm) | 反射率极值 | 极值类型 |
|--------|--------|--------|------|
| 近紫外区 | 0.347 | 0.015 | 极大 |
| 可见光区 | 0.464 | 0.0096 | 极小 |
| 近红外区 | 1.003 | 0.019 | 极大 |

比值运算后的 MODIS 图像(图 3b)尽可能真实地反映了地物特征, 但由于影像分辨率较低, 对小规模事故的油水反差效果不明显。而较高分辨率的 HJ-1 影像则更能突出油水反差(如图 4 粉色方框中的马家港水域), 随着油和水在影像上的灰度差别加大, 油膜较周围海水的颜色也越来越深, 凸显了溢油事发区域的疑似溢油细节信息, 由此亦可证实马家港码头附近确实有疑似油污带存在。

2.1.3 去“似溢油”现象

由于同谱异物现象^[17], 一些具有相同特征的疑似油膜干扰, 除了直接根据黑色区域的形状、大小、纹理结构等几何特征和当地海域的地理状况目视解译来区分这些假目标, 还可以结合油膜波谱特征, 通过图像分割的单波段阈值确定法进一步提取溢油信息, 提高提取精度。本文利用表 4 中近红外波段的反射率极值 0.019 对影像进行阈值运算, 可以看到马家港码头(31.380 005°N, 121.693 647°E)附近有明显渐变的黑灰色疑似溢油影像(图 5a)。但由于该阈值过于宽泛, 容易将具有相似光学特性的近岸海水或薄

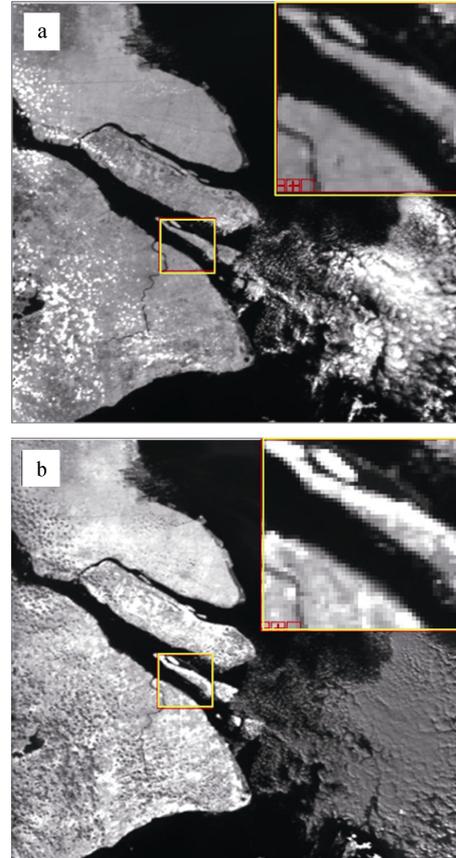


图 3 6月21日500 m分辨率MODIS原始影像(a)以及溢油敏感通道(第5波段)与海水特征通道(第1波段)比值运算后的MODIS影像(b)

Fig. 3 MODIS raw image of 500 m resolution on June 21 (a) and MODIS image obtained by applying ratio operation between oil spill sensitive channel (the 5th band) and water characteristic channel (the 1st band)

云区域也一起分割出来, 所以可以首先通过目视解译的方法, 排除近岸混淆因素的干扰, 进一步结合重柴油的反射率极值信息(表 3), 运用 ENVI 中 basic tools/segmentation image 图像分割方法^[18], 将溢油信息阈值锁定在 0.005 5~0.014 7, 即可有效去除与油膜表现相似特征的海水影响, 最终提取长约 0.023 4 km 的较为分散的暗灰色油污带信息(图 5b), 并且提取的溢油源地理位置与事故报道相符。对比发现, HJ-1 数据的提取精度较高, 分析主要是因为其在短波红外波段(1.55~1.75 μm)可以反映水面油膜的耀斑效应, 从而有效区分油污和其他非污染油膜的干扰^[5], 这也进一步验证了环境卫星诊断溢油结果的准确性。对比 6月21日的 MODIS 溢油提取影像(图 6), 可见排除干扰后, 红色方框中的溢油事发区域已无油膜存在, 且对同一区域的 7月31日 HJ 数据影像解译也

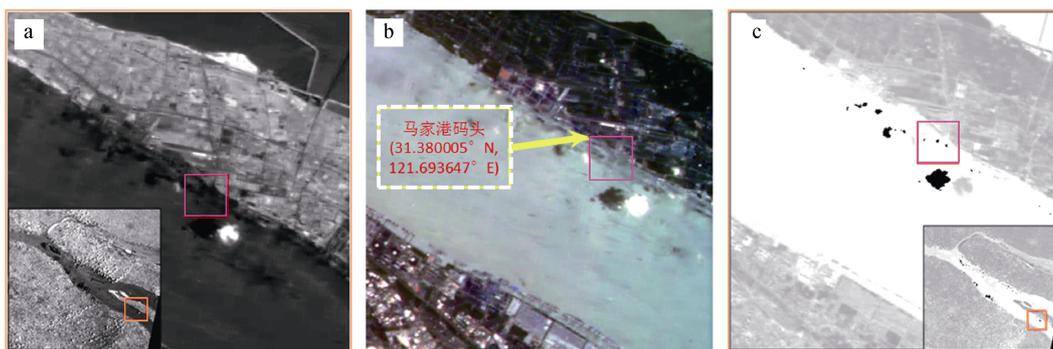


图 4 马家港码头附近区域溢油敏感通道比值效果对比图

Fig.4 Comparison charts of the effect by applying ratio operation of the oil spill sensitive channel near Majiagang Wharf area
 a: 5月21日 HJ-1B 原始影像; b: 假彩色合成 HJ-1B 影像中马家港码头的地理位置; c: 溢油敏感通道(第3波段)与海水特征通道(第1波段)比值运算后的马家港码头区域 HJ-1B 影像; 粉色方框: 马家港码头溢油事故事发区域
 a: HJ-1B raw image on 21 May ; b: Location of Majiagang Wharf in HJ-1B image which has been processed by pseudocolor synthetic; c: HJ-1B image of Majiagang Wharf area by applying ratio operation between oil spill sensitive channel (3rd band) and water characteristic channel (1st band) Pink square: Location of the oil spill accident near Majiagang Wharf

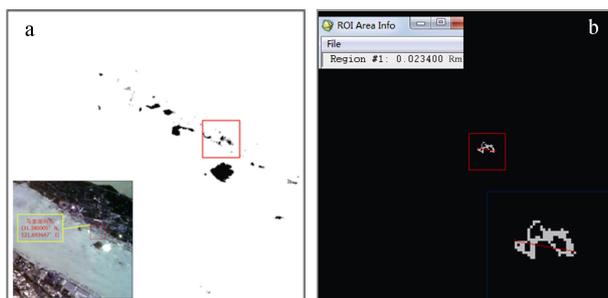


图 5 单波段阈值确定法提取后的 HJ-1B 疑似溢油影像(a)与图像分割后提取的5月21日 HJ-1B 溢油影像长度(b)
 Fig.5 Suspected oil films area of HJ-1B image extracted by threshold determination method with single band (a) and the length of the extractive oil films after image segmentation in HJ-1B image on May 21 (b)

无油膜信息, 分析可能是由于相关部门及时清污, 以及油膜自身发生扩散、漂移等风化过程, 导致大片油污逐渐消失。

此外, 对比溢油与背景海水的光谱曲线(图 7), 可以发现油膜的反射光谱曲线在形态上与海水非常接近, 且油膜的反射率在整个可见光和近红外区间都低于周围海水的反射率, 这点与重油特征正相符。另外, 还可以发现, 油膜在遥感影像上的光谱曲线整体走势, 与5月23日课题组在吴淞口事故现场利用红外光谱仪对采集油样测定的反射率波谱曲线近乎一致(图 8), 都在 580 nm(黄色可见光波段)左右达到反射率峰值, 且在 680 nm(红色可见光波段)附近呈现显著的递增趋势, 其中, 反射率数值差异主要

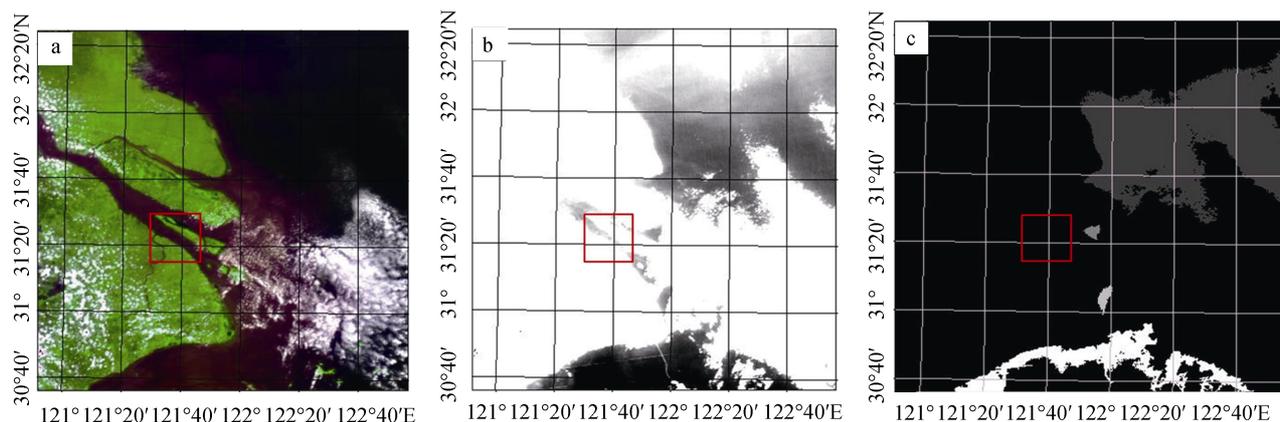


图 6 6月21日马家港附近的 MODIS 影像

Fig.6 Image of MODIS near Majiagang on June 21

a: 假彩色合成影像; b: 单波段阈值确定法提取后的疑似溢油影像; c: 图像分割后提取的影像; 红色方框: 溢油事故事发区域
 a: Pseudocolor synthetic image; b: Suspected oil films area of MODIS image extracted by threshold determination method with single band; c: Extractive oil films after image segmentation; Red square: Location of the oil spill accidents

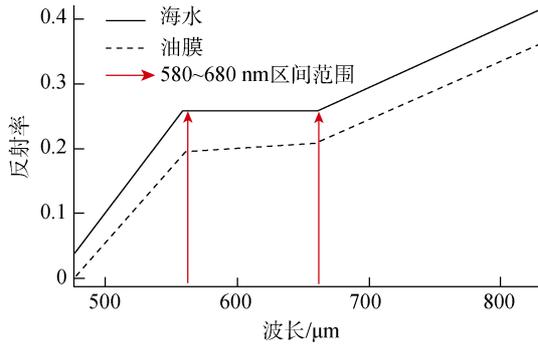


图 7 溢油与背景海水的光谱曲线

Fig. 7 Spectral curves of oil films and background of seawater

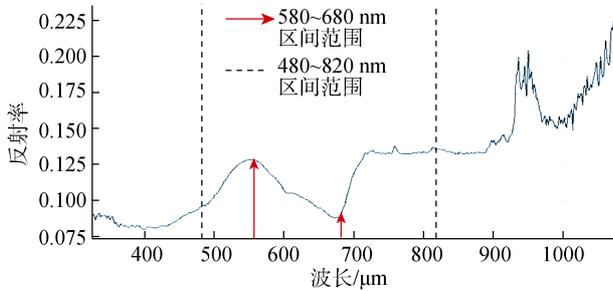


图 8 2012 年 5 月 23 日吴淞口事故现场红外光谱仪测定的油膜反射率谱

Fig. 8 Reflectance of oil spectral by infrared spectrometer testing at the scene of Wusong accident on May 23, 2012

是由于受不同地物特征影响的仪器探测与卫星传感器遥测差异引起,并不影响光谱曲线总体趋势的对比分析,通过对比也更好地验证了提取结果的可靠性。

2.1.4 估算溢油面积和溢油量

溢油面积的估算,采用 ENVI 软件将溢油异常区

域进行勾画,即可直接统计得出。通过计算可知,5月21日马家港附近提取的溢油面积为 0.212 4 km² (图 9a);利用上述相同方法可以诊断并计算 6月25日发生在九段沙 S12 灯浮(30°59'~31°09'N, 122°05'~122°22'E)附近的“密斯姆”轮船碰撞溢油事故的溢油信息,如图 9b 所示,7月3日的 HJ-1A 遥感影像上,在事发地附近,分布有 5 条不规则油污带呈向上游漂移态势,油污带长度依次分别为 0.034 2、0.019 8、0.062 1、0.080 1 和 0.030 6,见图 9c 标号,~ 相应的溢油面积依次为 0.170 1、0.101 7、0.591 3、1.762 9 和 0.375 3 km²,与报道基本一致,且只是在风、浪、流的作用下溢油面积发生的漂移扩散,由此也证实了本文方法的合理性和可行性。

对溢油量的估算主要是通过油膜厚度估算方法^[16],利用 ENVI 的密度分割功能,根据灰度统计直方图,参考事故现场勘查到的油膜颜色分布情况,将溢油灰度影像进行彩色分类,如图 9c 所示,将 7月3日溢油图像根据灰度颜色差异划分为 4 个小区,根据溢油量的基本表达式(公式(1)),求得溢油量为 12.685 t;同理可以得到 5月21日的溢油量为 0.601 8 t,且皆与事故报道相符。

$$G = \sum_{i=1}^n S_i \times H_i \times \rho \quad (1)$$

其中, G 为溢油量(t); S_i 为各小区溢油面积(km²); H_i 为各小区溢油厚度(μm),可以根据油膜色彩与油膜厚度的对应关系(表 5)进行推断; ρ 为溢油的密度(g/cm³),由于事故溢油油种属于重质原油,所以本文取重柴油密度为 0.943 g/cm³^[19]; n 为小区数量。



图 9 两起溢油事故的溢油面积估算

Fig. 9 Area estimation of the two oil spill accidents

a: 5月21日提取的马家港附近 HJ-1B 溢油影像面积; b: 7月3日第 4(Red)、3(Green)、2(Blue)波段假彩色合成的 HJ-1A 影像(九段沙 S12 灯浮附近); c: 7月3日 HJ-1A 提取的溢油区域密度分割后的效果; ~ : 油污带编号

a: Area of the extractive oil films near Majiagang in HJ-1B image on May 21; b: Pseudocolor synthetic image of HJ-1A data near S12 light buoy of Jiuduansha on July 3 (4th, 3rd and 2nd band correspond to Red, Green and Blue, respectively); c: Effect of the extractive oil films after density segmentation in HJ-1A image on July 3; ~ : the number of oil zone

表 5 油膜颜色与厚度、体积等实验关系

Tab.5 Experimental relationship between color and thickness or volume of oil films

| 序号 | 油膜颜色 | 大致厚度(μm) | 大致体积(m ³ /km ²) | 图像分割后的灰度值范围 | 图像中颜色 | 面积(km ²) |
|----|------|----------|----------------------------------------|-------------|-------|----------------------|
| 1 | 彩虹色 | 0.3 | 0.3 | 22~24 | 绿色 | 0.693 |
| 2 | 灰色 | 0.1 | 0.1 | 24~26 | 蓝色 | 1.492 |
| 3 | 黑色 | 20 | 20 | 20~22 | 红色 | 0.1701 |
| 4 | 褐色 | 15 | 15 | 26~28 | 黄色 | 0.6462 |

3 结论

纵观全文,我们可以发现综合运用多光谱 MODIS 卫星数据与较高分辨率 HJ-1 数据监测海上溢油,的确能在降低成本的同时有效覆盖溢油区域,相互参照补充,全面地进行比对识别,提高识别正确率,起到验证溢油信息提取方法的可行性和准确性的目的,是一种既有效又简便的溢油监测手段。

通过分析 MODIS 和 HJ-1 多光谱信息数据各波段的相关性,可以发现 MODIS 数据的 1、2、3 和 HJ-1 数据的 4、3、2 波段进行 RGB 假彩色合成,能有效区分海陆边界。结合事故现场油膜光谱采集结果不仅可以有效识别油种及其反射光谱特征信息,还可对溢油分布情况进行验证。将溢油敏感通道与海水特征通道进行比值运算后的遥感影像,可以有效突出影像中的溢油信息,大致定位溢油区域,再利用图像分割的阈值确定法可以排除同谱异物现象,从疑似溢油区域中有效提取溢油信息,提高溢油提取精度。对比可知,HJ-1 数据的提取精度较高,且在短波红外波段(1.55~1.75 μm)更易于区分油污和其他非污染油膜的干扰。为进一步提高溢油专题信息分类提取精度,便于定性与定量结合分析,需要在本文现场采集与研究得到的油膜光谱特征信息基础之上,再对一些典型地物、不同油种污染物样品进行波谱模拟实验和实地波谱采集,建立油膜波谱数据库,利用数值化神经网络方法反演溢油识别指标特征信息,从而科学高效的排除疑似溢油信息的干扰。

参考文献:

[1] 李四海. 海上溢油遥感探测技术及其应用进展[J]. 遥感信息, 2004, 2(2): 53-57 .
 [2] 石立坚. SAR 及 MODIS 数据海面溢油监测方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008 .
 [3] 侯岳, 刘培洵, 陈顺云, 等. 基于 MODIS 影像的夜间云检测算法研究[J]. 国土资源遥感, 2008, 1(1): 34-37 .
 [4] Hu C M, Li X F, Pichel W G, et al. Detection of natural oil slicks in the NW Gulf of Mexico using MODIS imag-

ery[J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(1): 1-5.
 [5] 田庆久. HJ-1 卫星遥感全波段监测近海油污能力浅析[R]. 南京: 南京大学, 2007 .
 [6] 沈亮, 苏玮, 付东洋, 等. 利用 MODIS 和 HJ-1 卫星数据监测墨西哥湾溢油事件[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(6): 50-53 .
 [7] 陆应诚, 陈君颖, 包颖, 等. 基于 HJ-1 星 CCD 数据的溢油遥感特性分析与信息提取[J]. 中国科学: 信息科学, 2011, S1: 193-201 .
 [8] 周正宝, 孙洪亮. 吴淞口一加油船进水 人员获救油污正在清除[N]. 东方网, 2012-05-19.
 [9] 徐进. 吴淞口沉船外泄污染已基本清除[N]. 东方网, 2012-05-21.
 [10] 上海应急. “密斯姆”轮与“竞帆 1”轮发生碰撞溢油事故 [EB/OL]. [2012-06-27]. http: //www.shanghai.gov.cn/shanghai/node2314/node2319/n31973/index.shtml/n30526/u21ai630173.html.
 [11] 萧君玮. 外轮碰撞 60 吨燃油泄漏入长江 事故原因尚在调查[N]. 新民网, 2012-06-28.
 [12] 潘洁洋. 长江口外轮燃油泄漏附近水域油污基本清除[N]. 中国交通报, 2012-07-02.
 [13] 邓睿, 黄敬峰, 王福民. 基于去相关拉伸光谱增强的 HJ-1 影像水体信息提取方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 11: 3064-3068 .
 [14] 马龙, 李颖, 兰国新, 等. 基于可分离性指数的溢油图像定量分析[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 262-266 .
 [15] 张永宁, 丁倩, 李栖筠. 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 .
 [16] 李微, 方圣辉, 佘袁勇, 等. 基于光谱分析的 MODIS 云检测算法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版) , 2005, 05: 435-438.
 [17] 国家海洋局. HY/T 095-2007 海洋溢油生态损害评估技术导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
 [18] 沈焕锋. ENVI 遥感影像处理方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009: 307-309 .
 [19] 郑全安, 孙元福, 师元勋, 等. 海面油溢航空遥感监测方法研究——波谱特性及实验结果分析[J]. 海洋学报, 1984, 4(4): 531-541 .

Diagnosis of oil spills in Shanghai coastal area based on multi-source satellite MODIS and HJ-1

YANG Hong, HANG Jun

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Nov., 4, 2013

Key words: Shanghai ocean area; oil spills; MODIS; HJ-1; image segmentation

Abstract: With the rapid development of shipping and oil industry chain of Shanghai Port, the risk of marine oil spills is increasing. In this paper, the information of the two major oil spill accidents, occurred near Wusong and Jiuduansha of Shanghai sea area in 2012, was analyzed by using the multi-satellite data based on the medium resolution MODIS of ESA and HJ-1 domestic environment satellite. By applying ratio operation between oil-water sensitive channel bands, the difference between spectral reflectance of film and background water was emphasized. Then, threshold determination method based on image segmentation was used, combined with the spectrum characteristic of heavy diesel oil, and the oil spills information was effectively extracted from the suspected oil films area. Taken together, the oil spills location, area and quantity were diagnosed to provide the fundamental analysis data for emergency response work.

(本文编辑: 李晓燕)