

文章编号: 1674 - 5566(2013)01 - 0154 - 07

基于多源遥感数据的大连新港海域溢油诊断

杨红, 陈健, 丁骏, 戴桂香, 赵瀛

(上海海洋大学 海洋科学学院 上海 201306)

摘要: 利用 MODIS 和 Radarsat-2 遥感数据对大连新港 2010 年 7 月 16 日的海上溢油信息进行提取分析, 经过预处理的 MODIS 遥感数据, 采用波段运算提取出溢油信息。较高分辨率的 Radarsat-2 数据经过几何校正、滤波等预处理, 根据溢油的特点采用纹理分析法提取出边界明显的溢油信息, 并与 MODIS 的溢油结果进行比较分析, 排除 MODIS 图像上的非溢油信息, 实现两种数据的优势互补。利用 ArcGIS 9.3 软件分别对 2010 年 7 月 18 日的 MODIS 数据和 2010 年 7 月 19 日的 Radarsat-2 数据提取出的溢油区域进行面积计算, 其结果分别为 174 km² 和 198 km² 与中国海监船的报道相符合, 说明了此方法的可行性。

研究亮点: 利用 MODIS 和 Radarsat-2 两种遥感数据源提取同一区域的海上溢油, 相比于单一数据源, 其效果更佳。对于 MODIS 遥感数据, 运用了波段运算处理方法, 并与 Radarsat-2 数据的处理方法和结果进行比较分析, 实现两种数据源的优势互补, 从而更好地判断遥感图片上的溢油信息。

关键词: 中分辨率成像光谱辐射计; 合成孔径雷达; 溢油

中图分类号: TP 753; X 87

文献标志码: A

目前, 溢油已经成为海上主要的污染之一, 其不仅给人们的生产、生活等造成重大影响, 而且对海洋渔业资源、生态环境产生长期的损害。为了减少溢油的影响, 各国采取了多种监测手段, 传统的方法是进行目测和浮标观测, 虽然准确率比较高, 但观测范围较小而不能满足常规监测的需要。随着航天卫星传感器的发展, 遥感技术越来越多地应用到海上溢油的监测中, 其中应用较广泛的传感器是中分辨率成像光谱辐射计 (moderate resolution imaging spectroradiometer, MODIS) 和合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR)。

MODIS 是由美国航空航天局联合其他一些科研机构开发的光学卫星传感器, 其搭载在 EOS (earth observing system) 的上午星 (terra) 和下午星 (aqua) 上, 白天和晚上都可以成像, 一天可获取 4 景 MODIS 影像^[1], 数据的时效性大大增强, 结合白天和夜晚的 MODIS 数据可以更好地研究溢油的位置、扩散等变化。MODIS 早期主要应用于气象和海洋水色观测, 随着溢油光谱的深入研

究, 其逐渐被引入到海上大面积溢油的探测中, 赵冬至、丛丕福等对不同厚度的辽河原油、0# 轻柴油和润滑油进行了光谱测定^[2], 张永宁等在对不同厚度的煤油、润滑油、轻柴油、重柴油进行光谱测定的同时, 对其相应的反射率也进行了分析^[3], 这些为 MODIS 溢油波段的选取提供了依据。具有较高分辨率的 SAR 数据, 在海上溢油的探测分析中具有广泛的应用, MERCIER 等将小波包变换与隐马尔科夫链结合来检测波谱的局部变化, 从而检测出 SAR 图像中的溢油^[4]; INDREGARD 等使用聚类、哈夫变换等算法检测出线状的溢油区域^[5]; MAGED 等使用改进的分形算法, 从 Radarsat-1 SAR 数据中提取出海上溢油^[6]; CHENG 等利用 SAR 图片监测出墨西哥湾石油泄漏以及扩散轨迹^[7]。覆盖油膜的海水与普通海水在粗糙度上有较大差别, 其在合成孔径雷达成像时, 会表现出不同的纹理特征, 上述基于 SAR 数据的算法在溢油区域和边界的提取上比较好, 但是其并没有进行溢油纹理特征的分

收稿日期: 2012-05-14 修回日期: 2012-07-25

基金项目: 上海市水务局科研计划项目 ([2012]03); 2011 年度海洋公益性行业科研经费专项项目 (200905010 - 10)

作者简介: 杨红 (1962—), 女, 教授, 研究方向为环境监测评价与管理。E-mail: hyang@shou.edu.cn

析,从而难以去除干扰因素的影响,为此本文根据溢油的纹理特征应用 Radarsat-2 数据进行海上溢油分析,并与 MODIS 数据的处理结果进行对比分析,实现多源数据的优势互补。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

2010 年 7 月 16 日在大连新港海域发生原油管道爆炸事故,为此分析了该区域前后多天的 MODIS L1B 级和 Radarsat-2 图像格式数据,经过筛选 2010 年 7 月 18 日 5 时 20 分的 MODIS 数据最佳,该时间段目标海域中云覆盖量较少,图像上溢油信息较为明显;筛选的 Radarsat-2 数据时间为 2010 年 7 月 19 日 22 时,该时间段的数据图像覆盖了整个目标海域。本文采用的 MODIS L1B 级数据来自上海海洋大学遥感实验室, Radarsat-2 数据购于中国科学院对地观测与数字地球科学中心,根据中国海监船于 2010 年 7 月 18 日 13 时关于溢油面积和位置的报道,研究区域锁定在大连新港和大窑湾港区附近海域,结合上述两幅影像提取的溢油信息,形成溢油面积的时间序列,并利用溢油的波谱特性,从而排除了非溢油信息的干扰。

1.2 MODIS 数据探测海上溢油的原理

MODIS 数据具有 36 个光谱波段,并不是每个波段都具有溢油信息,因此要根据溢油油品的特点选择合适的波段才能提取出最佳的溢油信息。经过预处理的 MODIS 数据仍然会受到云层的影响,可以根据云层的光谱特性利用波段计算予以去除,进一步结合溢油的光谱特性运用相应的波段计算式提取出溢油信息。

1.2.1 溢油信息的波段选取

由于海上油膜的辐亮度和比辐射率与海水有较明显的区别,因此其在 MODIS 图片上的灰度值有较大的差异。根据海上油膜的辐亮度和比辐射率与海水的对比度越大,提取出的溢油信息越明显,对 MODIS 数据的每个光谱波段采用如下公式(1)和(2)对其辐亮度、比辐射率进行分析和评价^[8]:

$$C_L = \frac{|L_{oil}(\lambda) - L_{seawater}(\lambda)|}{L_{seawater}(\lambda)} \quad (1)$$

$$C_E = \frac{|E_{oil}(\lambda) - E_{seawater}(\lambda)|}{E_{seawater}(\lambda)} \quad (2)$$

式中: C_L 和 C_E 分别为污染海域与背景海区的辐亮度和比辐射率的对比度; $L_{seawater}(\lambda)$ 和 $E_{seawater}(\lambda)$ 分别为背景海区测量的辐亮度和比辐射率的平均值; $L_{oil}(\lambda)$ 和 $E_{oil}(\lambda)$ 分别为污染海域测量的辐亮度和比辐射率的平均值。根据以上公式(1)和(2)对 MODIS 传感器 36 个波段的辐亮度和比辐射率的对比度进行计算,可知在发射波段的 20 个波段中,第 20、22、23 波段的溢油信息最为明显,其对应的波谱值在 3.66 ~ 4.08 μm 之间;反射波段的 20 个波段中,有溢油特征的大约有 14 ~ 19 个,其中溢油特征最为明显的是在 0.8 ~ 2.13 μm 之间,无油膜覆盖的海水根据海况的不同,其对应波谱值范围为 0.015 ~ 0.538 μm ,若有油膜覆盖的海水其波谱值范围在 0.8 ~ 4.08 μm 之间,则可以应用 MODIS 遥感数据对溢油信息予以提取。

1.2.2 溢油提取的波段计算

MODIS 传感器在轨道运行过程中会受到自身的抖动以及受大气等因素的影响,使图片产生畸变和方位偏差,因此,在利用 MODIS 遥感图片进行溢油信息提取时,首先必须对图片进行“蝴蝶结”现象去除、几何校正和大气校正等预处理。MODIS 遥感图片上的疑似溢油区经常会受到少量云层的影响,可以利用波段计算给予去除。云在可见光和近红外波段均具有较高的反射率,一般在 250 附近范围内,可以根据直方图选取灰度值高值区峰值之间略陡的波谷作为阈值,将图像中灰度值大于等于阈值的云区像元置 0,即屏蔽掉云区信息,小于阈值的云区像元置 1,即可得到二值化的图像,结合波段分析中得到的溢油信息最佳波段,将二值化的图像与该波段相乘即可得到剔除云区的图像。

海上溢油在 MODIS 传感器上的成像与油品相关,不同油品对光线的反射率不同,因此其成像会有差别。可采用该值作为溢油提取的阈值,将去云后的图像中灰度值小于阈值的溢油区像元乘 1,即保留其原值,大于阈值的部分则乘 0,即屏蔽掉其他所有信息,最后获得图像中的溢油信息。

1.3 Radarsat-2 数据探测海上溢油的原理

Radarsat-2 属于微波雷达传感器,发射信号在 C 波段,微波雷达在成像时会产生斑点噪声,干扰溢油信息,可以利用相应的滤波方法予以去

除。油膜与背景海水在纹理特征上会有很大的区别,根据海上溢油形成的油膜纹理特征可以辨别出 Radarsat-2 数据中的溢油信息,为此首先要经过几何校正、斑点噪声去除等预处理,然后对溢油区的油品进行分析,根据相应的纹理特征运用 ENVI 4.8 软件提取出溢油信息。

1.3.1 斑点噪声去除

常用的 Radarsat-2 数据为 image 格式,其已经经过辐射校正,与 MODIS 数据相似受卫星运行轨道、传感器抖动等影响,Radarsat-2 数据也要进行几何校正,又由于雷达成像的特殊性,图像上会产生斑点噪声,需要进一步进行滤波处理,常用的滤波方法有中值滤波、均值滤波、LEE 滤波、FROST 滤波、KUAN 滤波和 GAMMA 滤波等,对于 SAR 图像运用 GAMMA 滤波运算效果最佳^[9]。GAMMA 滤波是一种几何滤波法^[10],其数学模型为下式所示:

$$F_{ij} = \begin{cases} M & (C_x < C_{ij}) \\ (BM + \sqrt{P})/2\alpha (C_{ij} \leq C_x \leq C_{\max}) & \\ G_{ij} & (C_x > C_{\max}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: F_{ij} 为滤波后像元 (i, j) 的灰度值; M 为滤波窗口内像元灰度平均值; C_x 为窗口相对标准差, $C_x = V/M$, V 为滤波窗口中像元的方差; C_{ij} 为噪声相对标准差; $C_{\max} = \sqrt{3}C_{ij}$; α 为异质参数,对单视

图象 $\alpha = 2/(C_x^2 - 1)$; $B = \alpha - 2$; G_{ij} 为滤波前像元 (i, j) 的灰度值; $P = M^2 B^2 + 8\alpha M G_{ij}$ 。

1.3.2 溢油的纹理特征分析

Radarsat-2 卫星传感器属于微波雷达系列,其提取海上溢油信息的原理与多光谱传感器 MODIS 不同。地物在雷达上的成像不同,主要是因为地物对雷达波的后向散射不同而形成差异,海面粗糙度是引起雷达后向散射的主要因素,海面发生溢油时,油膜会降低海面的粗糙度,从而使覆盖油膜的海水在纹理上与正常海水不同,减弱其相应的雷达后向散射,在图像上会形成黑暗的区域或暗斑。油膜的纹理分析就是通过概率统计把处理窗口中每一个灰阶出现的次数用于纹理计算,计算 4 个不同方向 $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$ 上基于灰度共生矩阵的纹理特征图像,其中纹理特征参量有数据范围(Data Range)、均值(Mean)、变量(Variance)、熵(Entropy)、斜态(Skewness)5种,在利用上述 5 种参量排除溢油干扰信息的同时,应尽量保持溢油信息的完整性,为了判断各种参量的处理效果,取其特征参数平均值和方差进行比较,从表 1 可见应用均值(Mean)特征参数处理后的图像与原图像的 DN 值特征性相似,最适合 Radarsat-2 遥感数据对海上溢油信息的提取。

表 1 应用不同纹理特征参量获取的图片特征参数

Tab. 1 The picture characteristic parameters via the different texture characteristic parameters

特征参量	原图	数据范围	均值	变量	熵	斜态
参数平均值	68.6	132.5	67.9	9 892.6	3.2	0.000 3
方差	107.9	649.5	37.9	424 824.0	0.4	0.002

2 结果与分析

2.1 利用 MODIS 数据提取大连新港“7.16”海上溢油信息

不同的油品对应的波谱特性会有较大的差异,并且同一油品的波谱特性表现在 MODIS 数据的不同波段上会有很大的差别。经过对大连新港“7.16”溢油的油品分析,结合 MODIS 的特性选择最佳的溢油信息提取波段,最后经过波段计算提取出疑似溢油信息。

2.1.1 溢油信息的波段选取

大连新港“7.16”溢油主要是大庆原油,其在可见光波段油膜反射率极大值为 $0.464 \mu\text{m}$ (对应

第 9 波段),在近红外波段油膜反射率极大值为 $1.003 \mu\text{m}$ (对应第 5 波段)^[2],为了能够提高图片的分辨率,需要选择 250 m 分辨率的第 1 波段,通过 1、5、9 三个对比度最高的波段组合可以使溢油信息更加明显。

2.1.2 疑似溢油信息的提取

对于大连新港“7.16”的海上溢油监测,虽然选择了 2010 年 7 月 18 日 5 时 20 分的 MODIS 数据作为最佳数据源,但是在我们监测的区域内仍然存在少量云层,根据 MODIS 数据上的直方图信息选取云层的阈值为 231.01,根据上述 MODIS 去云方法剔除云层的影响,其结果如图 1 所示,目标海区的少量浮云基本上被去除。大连新港

的海上溢油主要为大庆原油,反射率的极大值为 0.019^[2],采用该值作为溢油提取的阈值,应用上述提取疑似溢油的波段计算方法在 ENVI 软件的“band math”模块中进行计算,提取出疑似溢油信息,如图 2 所示。

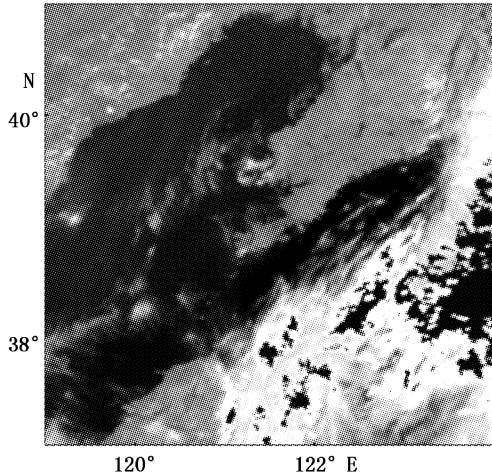


图 1 剔除云区后的影像
Fig.1 The image of removing clouds

2.2 利用 Radarsat-2 数据提取大连新港“7.16”海上溢油信息

Radarsat-2 数据在进行溢油信息提取之前,首先要进行几何校正、斑点噪声去除等预处理,然后根据溢油的纹理特性与背景海水的区别提取出溢油信息。

2.2.1 几何校正和斑点噪声去除

Radarsat-2 数据的预处理包括几何校正和斑

点噪声去除。为了达到更好的几何校正效果,本文选用了地面控制点法进行几何校正,在文中选取了图片中 4 个特殊的地面控制点,利用 ENVI 4.8 软件中的“Map/Registration/Select GCPs; Image to Map”进行处理,地理投影选择了“WGS-84”,输出文件参数中采用的算法为三角网格法,如图 3 中(a)是经过几何校正的 Radarsat-2 遥感图像。经过几何校正的图像,进一步应用 ENVI 4.8 软件中的 Gamma 滤波模块去除图像中的斑点噪声,从而排除其对溢油信息的干扰,图 3 中(b)是经过 Gamma 滤波处理的 Radarsat-2 遥感图像,从图(a)和图(b)两幅图的比较可以看出经过滤波的遥感图像中斑点噪声明显减少。

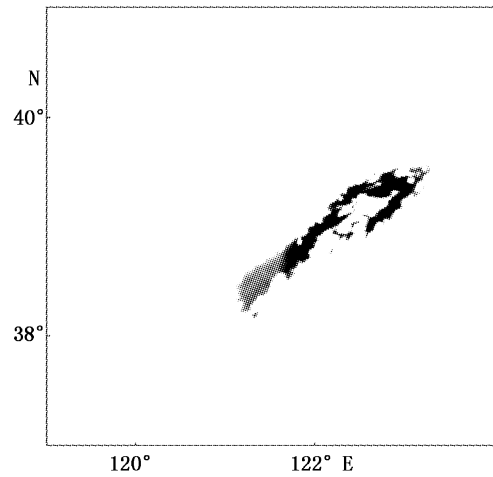


图 2 提取的疑似溢油区域
Fig.2 The extracting suspected oil spill area

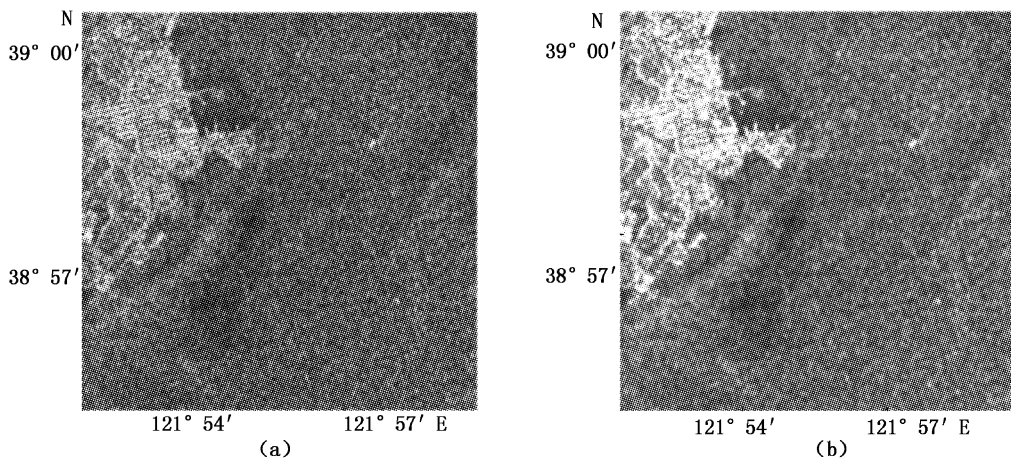


图 3 Radarsat-2 遥感图片
Fig.3 The Radarat-2 remote sensing image
(a). 经过几何校正的;(b). 经过 Gamma 滤波的。

2.2.2 溢油信息确定

经过预处理的 Radarsat-2 数据,采用 7×7 的纹理窗口对其进行数据范围、均值、变量、熵、斜态 5 种纹理特征分析,选用数据范围参数生成的图像,海上信息变得很模糊,分辨不出溢油信息和海面,应用变量参数得不到图像信息,使用熵和斜态只能提取出零散的图像信息,而得不到完整的溢油图片,只有采用均值计算才能得到与原

数据尺寸一样反映溢油纹理特征的图像,图像中的溢油信息得到明显增强,提取的溢油信息如图 3(a) 所示。为了进一步增强图像上的溢油信息,利用 ENVI 4.8 软件中的“Radar/Synthetic Color Image”模块进行图像的假彩色合成,增强后的遥感图像可以明显地看出溢油的区域和溢油边界信息如图 3(b) 所示。

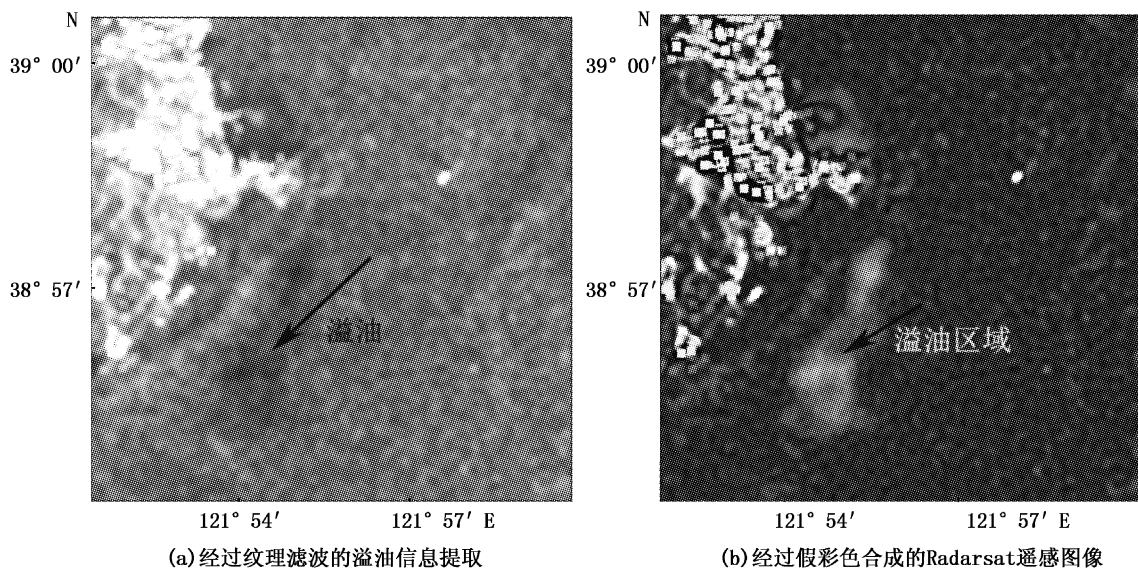


图 4 经过纹理滤波的溢油信息提取和经过假彩色合成的 Radarsat 遥感图像
Fig. 4 The oil spill information via texture filtering and the Radarsat remote sensing image via false color synthesis

2.3 两种遥感数据源提取溢油的比较分析

从图 2 中可以发现明显渐变的灰黑色疑似溢油区域,且灰度层次得到增加。由于油膜的反射率比海水大,其在影像上会显示灰白色,再根据地理位置及目测法,并与图 4 中 2010 年 7 月 19 日 22 时的溢油区域进行比较分析,从而分析出图 2 中暗黑色区域为非溢油区,利用 ENVI 软件中的掩膜模块对图 2 的疑似溢油区域进行处理,裁剪出溢油区域,按上述方法处理的溢油波段与经过 MODIS 预处理后的第 1 和第 9 三个波段进行假彩色合成,如图 5 使溢油信息更加清晰。根据中国海监于 2010 年 7 月 18 日的报道,溢油区域有所扩大,此与图 4 和图 5 中的溢油扩展趋势相符。图 4 中 Radarsat-2 数据提取出的溢油信息,相比于 MODIS 数据,其溢油边界更加清晰,溢油区域也更明显,而 MODIS 遥感图像分辨率较低、受云层等干扰比较大,提取出的溢油信息比

较弱,边界比较模糊, Radarsat-2 数据可以很好地弥补 MODIS 数据这方面的缺陷。

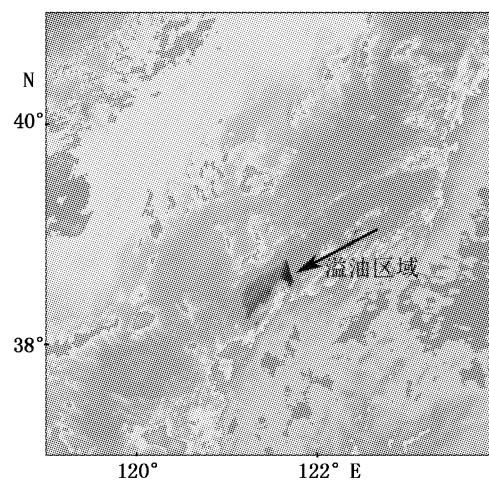


图 5 MODIS 数据假彩色合成后的溢油区域
Fig. 5 The oil spill area via false color synthesis image of MODIS data

MODIS 数据和 Radarsat-2 数据在成像原理和特点上各不相同,其在提取海上溢油信息时各有优缺点,从而可以达到取长补短的最佳效果。MODIS 遥感数据属于多光谱数据,具有 250 m、500 m、1 000 m 3 种分辨率,其分辨率较低。本文应用的 Radarsat-2 数据分辨率为 30 m,从而对于溢油的边界判断较明显,也可以用来排除 MODIS 遥感图片中的非溢油区域。MODIS 数据的周期比较短,同一区域一天可以获得四景不同时刻的图片,然而 Radarsat-2 数据一般的周期为 16 d,可以将两种数据结合起来使用,从而实现不间断监测。MODIS 传感器的成像受天气的影响比较大,对于云层较厚的区域得不到溢油信息,Radarsat-2 传感器成像不受云、雾天气的影响,因此对于 MODIS 遥感图片上云层较厚区域的信息,可以利用 Radarsat-2 图像数据给予补充。此外,Radarsat-2 数据的选择需要考虑风速的影响,在风速小于 3 m/s 时,其对海面油膜的作用比较小,油膜在纹理、粗糙度的变化上比较弱,油膜与海水相差较小,在此风速下很难区分溢油和疑似溢油;在风速大于 7 m/s 时,风浪会比较大,其会与溢油形成混合,从而形成的雷达后向散射都比较强,较难区分风浪和溢油信息,MODIS 数据信息受风速的影响比较弱。

2.4 溢油面积计算

ArcGIS 软件除了在土地测绘等方面有重要应用外,其在遥感图片的处理中也具有重要的作用,本文利用 ArcGIS 软件对上述处理过的溢油区域经过图像配准、图像矢量化、投影变化而计算出相应的面积。经过计算 2010 年 7 月 18 日 5 时的 MODIS 遥感图片提取的溢油面积为 174 km²,2010 年 7 月 19 日 22 时的 Radarsat-2 遥感图片提取的溢油面积为 198 km²,而中国海监船于 7 月 18 日 13 时监测的溢油区域面积为 183 km²,溢油面积随着时间的推移而不断地增加,其主要是由于溢油受海浪、潮汐、温度等的影响,在没有得到及时处理的情况下,溢油的面积仍然在不断地扩大。

3 结论

本文利用两种遥感数据源对大连新港“7.16”海上溢油进行分析,经过对两种数据的预处理,并且根据数据自身特点提取出溢油信息,

与中国海监船的报道进行了对比分析,说明本文采取的海上溢油提取方法是可行的,其结论如下。

(1) 经过预处理的 MODIS 数据,通过最佳波段选择和波段计算提取出疑似溢油信息,并且与 Radarsat-2 数据提取出的溢油信息进行比较分析,排除非溢油区域的干扰,最终提取出 2010 年 7 月 18 日 5 时的溢油面积为 174 km²。

(2) 根据溢油区域油品的纹理特性,对 2010 年 7 月 19 日 22 时的 Radarsat-2 遥感数据进行分析,运用 ArcGIS 软件提取出溢油面积为 183 km²。

(3) MODIS 数据分辨率较低,可以实现大范围的监测,但是提取的疑似溢油区域中干扰因素较多,Radarsat-2 数据分辨率高,提取出的小范围溢油信息比较明显,从而排除 MODIS 数据中非溢油信息,实现多源数据的优势互补。

参考文献:

- [1] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2009.
- [2] 赵冬至,丛丕福. 海面溢油的可见光波段地物光谱特征研究[J]. 遥感技术与应用,2000,15(3): 160-164.
- [3] 张永宁,丁倩,高超,等. 油膜波谱特征分析与遥感监测溢油[J]. 海洋环境科学,2000,19(3): 5-10.
- [4] MERCIER G, DERRODE S, PIECZYNSKI W, et al. Multiscale oil slick segmentation with Markov Chain Model[J]. Proc. IGARSS03, 2003, 6: 3501-3503.
- [5] INDREGARD M, SOLBERG A, CLAYTON P. D2-report on bench marking oil spill recognition approaches and best practice[R]. Tech. rep., Oceanides, Projject, European Commission, Archive No. 04-10225-A-Doc, Contract No: EVK2-CT-2003-00177, 2004.
- [6] MAGED M, ARTHUR P C, MAZLAN H. Modification of fractal Algorithm for oil spill detection from RADARSAT-1 SAR data [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2009, 11(2): 96-102.
- [7] CHENG Y C, LI X F, XU Q, et al. SAR observation and model tracking of an oil spill event in coastal waters [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(2): 350-363.
- [8] VALBORG B. Optical remote sensing of oil in the marine environment [D]. University of Southampton (United Kingdom), 2000.
- [9] GIGLI G, LAMPROPOULOS G A. A New Maximum Likelihood Generalized Gamma CFAR Detector [C]. IGARSS' 02, Toronto, Canada, 2002.
- [10] 洪文, 胡东辉. 合成孔径雷达成像—算法与实现[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.

The oil spill diagnosis of Dalian New Port sea based on multi-source remote sensing data

YANG Hong, CHEN Jian, DING Jun, DAI Gui-xiang, ZHAO Ying
(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The oil spill information of the Dalian New Port on Jul. 16, 2010 was extracted and analyzed by MODIS and Radarsat-2 remote sensing data. After the pre-processing of MODIS remote sensing data, take measure of band math to extract oil spill information. For higher resolution Radarsat-2 remote sensing data, after the pre-processing of geometric correction, filtering and so on, take the method of texture analysis to extract oil spill information with the obvious boundary, then compared with the extracting oil spill result in MODIS remote sensing image, eliminate the non-oil information in MODIS remote sensing image, so it can complement each other's advantages by using the two remote sensing data. For MODIS data on Jul. 18, 2010 and Radarsat-2 data on Jul. 19, 2010, the extracted oil spill area which is calculated by the ArcGIS software is 174 km² and 198 km², respectively, which is according with the report of the China Ocean Monitoring Ship, so that it shows the feasibility of this method.

Key words: moderate resolution imaging spectroradiometer; synthetic aperture radar; oil spill