

老铁山水道漏油事故卫星监测

李栖筠

(大连海事大学航海学院 大连 116024)

陈维英 肖乾广

(中国气象局卫星中心 北京 100081)

丁克旭

(中国核工业航测遥感中心 石家庄)

摘要 本文通过对 Landsat TM 图像和 NOAA AVHRR 图像进行特殊的处理,将石油污染区与周围海水区别开来,利用 Landsat 卫星精度和 NOAA 卫星时相的优势,可以确定污染面积、扩散方向和扩散速度。

关键词 卫星,遥感,监测,海上油污

在各种海洋污染中,石油污染无论在发生频率、分布广度、还是在危害程度上均居首位,对海洋环境构成严重威胁。

为了保护我国的海洋环境,国家制定了海洋保护法。海洋局、环保局在沿海建立了众多环境监测站,交通部在沿海各港口设立了港监局,都是海洋环境保护的执法机构。但是,目前我国海洋监测系统还很不完善,仍停留在目视观察、船舶举报、机动艇巡视等等。80年代虽然海洋局购入飞机,对航空遥感监测问题进行了大量研究工作,并取得了可喜的成果。可是,我国海岸线按18.4万公里计算,飞机在航每公里40元,每监测一个单航次将耗资74.6万元。终因经费问题,而不能纳入常规监测手段之中。各种执法机构因监测手段不完善而无法更好地履行自己的职责。

卫星监测为海洋环境保护提供了新的希望,卫星遥感具有范围广、速度快和同步连续监测的特点,再加上所需经费有限,是其它监测手段所不可取代的。国外利用卫星监测海面油污早有研究。但目前还处于试验研究阶段。我国在这方面的研究仍是空白。

本文是对1990年6月8日02时42分利比亚籍的“春鹰”轮与巴拿马籍的“玛亚8号”轮在老铁山水道发生碰撞,造成大面积油污事故的卫星遥感监测的总结。

1 卫星影像的制作

1.1 卫星资料的选择

众所周知,landsat-5 TM 影像几何分辨率较高(30m × 30m),但时相较差,对某个海域16天方能实现一次监测,几乎失去了监测油污的可能性。NOAA 气象卫星 AVHRR 影像时相好,一天可以对某个海域监测4次,但分辨率较差(1.1km × 1.1km),只能监测大面积污染。为了取长补短,得到比较满意的效果,利用 TM 影像精度好的特点,

收稿日期:1994年1月29日;收到修改稿日期:1994年3月29日。

进行溢油面积、厚度、污染量等方面的定量研究,确定相关模式。利用 AVHRR 影像时相好的优势,对油污染进行动态监测,发现可疑海域,确定油膜扩散速度、方向及其与风、浪、流的相关模式。

选用的影像资料是: landsat-5 TM 1990 年 6 月 9 日 10 时 40 分的大连幅; NOAA-AVHRR 1990 年 6 月 9 日 08 时 13 分,13 时 39 分和 10 日 07 时 49 分大连幅。

1.2 卫星资料处理与制作

海上油污为撞船以后溢出的重质柴油和滑油,油膜对可见光的反射率大于海水。据郑全安等人对油膜波谱特性的实验结果(图 1),柴油在 $0.36\text{--}0.50\mu\text{m}$ (蓝谱段) 其反射率与海水的差别最大^[1]。看来利用可见光(蓝—绿)波段是有利的,可是实验表明,可见光波段对水体穿透能力较强,尤其在老铁山水道,海水清澈,光的透射能力强,但是海水中杂质和大气散射的影响容易把油膜的信息干扰掉,因此在选择 TM 通道时, TM_1 通道影像效果并不理想,海底地形清晰可见,而油膜信息几乎看不到。

近红外波段及热红外波段主要反映海水表面信息,利用海水和油膜的热辐射差异来分辨海水和油膜。理论推测,海水热辐射要大于油膜辐射,应该在影像上很好地反映出来,可是由于海水表面的波浪、海流等因素的干扰,影像中反映油膜的信息并不清晰。

由于以上原因,为增强油膜信息,压低干扰因素,对卫星资料又进行了一系列的处理:首先,进行了波段组合试验。经过筛选,发现: landsat TM_7 、 TM_3 、 TM_1 (图版 I 图 2) 和 TM_6 、 TM_5 、 TM_2 (图版 I 图 3) 两个组合效果比较好。 TM_7 、 TM_3 、 TM_1 组合影像反映油膜纹理清晰,层次分明,但油水的界限不理想。 TM_6 、 TM_5 、 TM_2 组合界限清晰,层次分明,但纹理不理想。对 NOAA AVHRR 资料也进行了组合试验,发现 1、2、4 通道组合影像效果较好(图版 I 图 4),可以清晰看到油膜的轮廓。其次,进行了通道比值试验,发现 landsat 卫星 6/2,5,3 通道组合和 NOAA 卫星 1/4,2,1 通道组合(图版 I 图 5),反映油膜更清晰。再次,对各波段组影像在微机上进行分段线性拉伸,增强油膜与海水之间的反差,扩大海水与油膜的亮度范围。最后,为了使各波段对油膜显示有贡献的微弱信息更好地提取出来,使海水与油膜边界突出,在微机进行了 K-L 变换处理。

各波段组假彩色配置顺序是:红、绿、蓝。

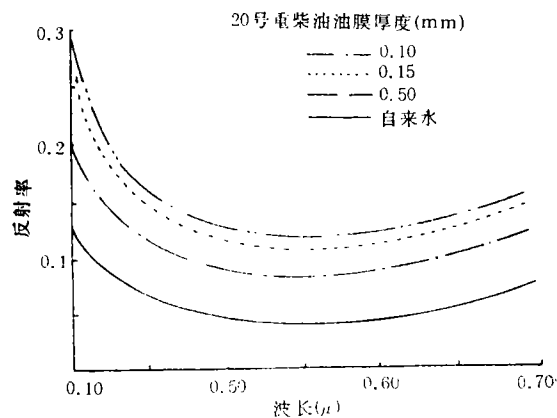


图 1 不同厚度 20 号重柴油膜与自来水对可见光的反射率

Fig. 1 The reflectance of No. 20. heavy diesel oil slick with different thickness and running water against visible light

2 影像解译

影像解译原理是油面与海水表面对可见光的反射率和热辐射强度的差异,可以在影像中反映出来,据 H.H. White 的试验指出:利用微波辐射影像分析油膜效果更好,并且全天候监测^[2]。主要用影像中的纹理、色调、亮度的组合及时空分布差异来直接或间接判断出油膜的分布范围、厚度和扩散规律^[3]。

1990年6月9日10时40分的 Landsat TM₄、TM₅、TM₂ (图版 I 图 3) 假彩色合成影像,油膜呈橘黄色,油膜带南北方向分布,南宽北窄,从颜色的深浅可以分出油膜的厚

表 1 各测点三原色密度值

Table 1 The three primary colors density on each measuring point

测 区	红	绿	蓝	白
I ₁	0.02	0.03	0.02	0.02
I ₂	0.03	0.05	0.05	0.04
I ₃	0.04	0.05	0.03	0.05
平 均	0.03	0.04	0.03	0.04
II ₁	0.05	0.10	0.06	0.07
II ₂	0.03	0.06	0.04	0.04
II ₃	0.07	0.13	0.06	0.11
平 均	0.05	0.10	0.05	0.07
III ₁	0.15	0.20	0.02	0.15
III ₂	0.08	0.14	0.05	0.10
III ₃	0.16	0.16	0.02	0.13
平 均	0.13	0.17	0.03	0.13
IV ₁	0.40	0.28	0.09	0.25
IV ₂	0.60	0.53	0.09	0.38
IV ₃	0.58	0.52	0.08	0.38
IV ₄	0.51	0.47	0.07	0.53
IV ₅	0.36	0.31	0.06	0.26
平 均	0.49	0.42	0.08	0.32
V ₁	1.11	0.69	0.35	0.36
V ₂	1.26	0.94	0.17	0.70
V ₃	1.49	1.09	0.42	0.86
平 均	1.29	0.90	0.31	0.64
VI ₁	0.33	0.15	0.05	0.15
VI ₂	0.05	0.04	0.02	0.03
VII ₁	0.03	0.04	0.04	0.04
VII ₂	0.18	0.20	0.02	0.15

I—IV: 油膜区 V: 深海海水区 VI: 海脊区 VII: 异常区

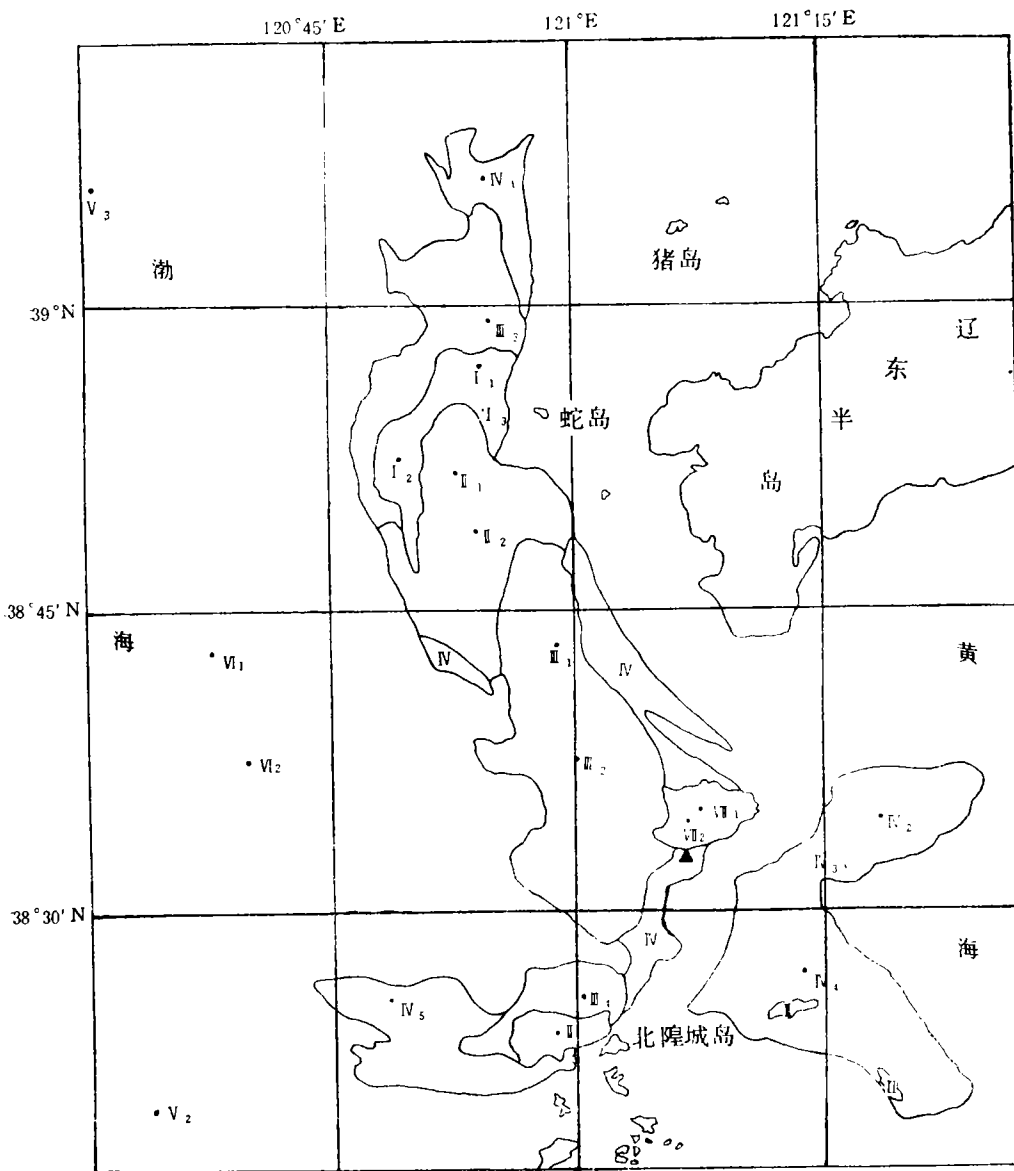


图 6 密度测点和油膜分布图

Fig. 6 The distribution chart of density-measuring point and oil slick

I 厚油区 II 较厚区 III 较薄区 IV 最薄区 V 深海 VI 海脊 VII 异常海域 ▲ 沉船船位

薄,油膜较薄的海域呈淡黄色,随着油膜的加厚,颜色逐渐加深,依次出现淡黄色、黄、橙和橙红色。最厚的区域在蛇岛的西部和沉船船位的西南部海域,由此可大致看出油膜向北方向漂移。深海呈天蓝色、深蓝色,海脊呈桃红色。

用美国产 RD917 型密度测试仪在 TM 图像上测出油膜及海水不同区域的三原色的密度值(表 1)。该仪器读数值越大,说明对该颜色反射率越小,读数越小,说明对该颜色反射率越大。图 6 是各密度测点和油膜分布图。I—IV 为有油膜海域,V 是海水,VI 为

海脊, VII 为异常海域,可能是大连港吸油轮吸油后出现的形状不规则异常颜色海域。右下角号为密度测点序号。图 7 为各层次油膜对三原色反射率分布图。可以明显看到在影像上油膜较厚的测区 (I、II 区)对红、绿、蓝波段光波反射率都很大,而海水对红、绿波段光波反射率很小,可是对蓝光反射值很大。但总的来看,海水对三原色的反射值小于油膜。根据油膜对三原色反射率的大小可以把油膜相对分成厚油区、较厚区、较薄区和最薄区等四个层次。经微机计算,厚油区面积为 98.892km²,较厚区为 279.864km²,较薄区为 647.220km²,最薄区为 813.383km²,油膜分布总面积达到 1839.359km²。

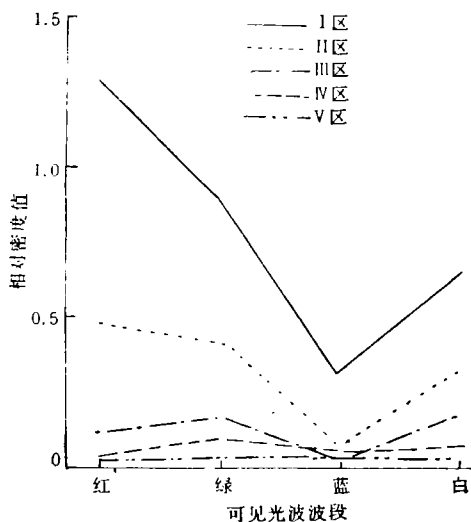


图 7 各油区三原色密度分布图

Fig. 7 The chart of three primary colors density on each oil-spilled area

1990 年 6 月 9 日 13 时 39 分 NOAA AVHRR1, 2, 4, 通道合成影像(图版 I 图 4)油膜呈灰、暗灰色,海水呈深蓝、蓝紫色。1990 年 6 月 10 日 07 时 49 分 AVHRR1/4,2,1 通道合成影像(图版 I 图 5)油膜呈分散的黄绿色斑点,深海是黑色,海脊是蓝色。

TM₇、TM₃、TM₁ 扫描影像中海水呈蓝色、深蓝色、海脊呈蓝紫色、紫黑色的线状延伸,油膜区呈紫色,油膜较薄的海区呈浅紫色,故本图油水界限不明显,随着油膜的加厚,颜色加深呈深紫色、紫黑色。虽然图像层次不如 TM₆、TM₅、TM₂ 扫描图像分明,但其油膜纹理比 TM₆、TM₅、TM₂ 清晰,在厚油区比薄油区更明显,并随主风向呈弧形分布,显示油膜扩散方向。AVHRR 影像因为分辨率低,纹理不清,很难辨认出来。

TM₇、TM₃、TM₁ 扫描影像中海水呈蓝色、深蓝色、海脊呈蓝紫色、紫黑色的线状延伸,油膜区呈紫色,油膜较薄的海区呈浅紫色,故本图油水界限不明显,随着油膜的加厚,颜色加深呈深紫色、紫黑色。虽然图像层次不如 TM₆、TM₅、TM₂ 扫描图像分明,但其油膜纹理比 TM₆、TM₅、TM₂ 清晰,在厚油区比薄油区更明显,并随主风向呈弧形分布,显示油膜扩散方向。AVHRR 影像因为分辨率低,纹理不清,很难辨认出来。

landsat TM 合成影像和 NOAA AVHRR 合成影像油膜的亮度都明显高于海水,也证明了海水对可见光的反射率小于油膜。所以在影像中油膜可以清楚地在海水的背景上反映出来。在油膜区内,厚油区的亮度又大于薄油区。

老铁山水道附近海域的潮汐属于不规则半日潮,海水每天涨落二次。该水域的海流很小,海水的流动主要受潮汐影响,涨落潮最大流速均在 3 节左右,但多数时间流速很小,涨潮流向偏西,落潮流向偏东。海峡其它水域涨、落潮最大流速均在 3 节以下,流向亦呈东一西向往复运动⁹。

从图 6 油膜分布图和 Landsat TM 合成影像上看,油膜主要向北方向扩散,其次是向西南方向,而向东北和东南方向扩散得较弱,再结合从事故发生时间(1990 年 6 月 8 日 02 时 42 分)到获得 TM 图像的时间(1990 年 6 月 9 日 10 时)老铁山水道附近海域潮汐、海流和风的资料(图 8),可以看出,在该海域油膜扩散主要受风的影响,海流和潮流的影响较小(大部分时间流速较小而且涨落潮流向相反,互相抵消)。

1) 交通部大连海上安全监督局关于“春鹰”轮与“玛亚 8”轮碰撞事故的综合报告。

由 NOAA 卫星 1990 年 6 月 9 日 08 时 13 分和 13 时 39 分及 6 月 10 日 07 时 49 分三幅影像分析: 油膜从 9 日 08 时 13 分到 13 时 39 分是以 4.5km/h 的速度向北扩散, 这和当时主风向有关, 大连气象站 12 时观测(表 2), 风向 SSW, 风速 6 级, 油膜在风的吹拂下向北扩散。从 9 日 13 时 39 分到 10 日 07 时 49 分, 油膜由于风向的改变(9 日 18 时风向 NNW 风速 6 级, 10 日 00 时 S 风 4 级), 油膜又向南摆动, 其漂移速度平均约为 5 km/h。油膜面积也以一昼夜翻一番的速度扩大。卫星影像上分析油膜移向移速基本与风向风速紧密相关而与海流、潮流相关较差。

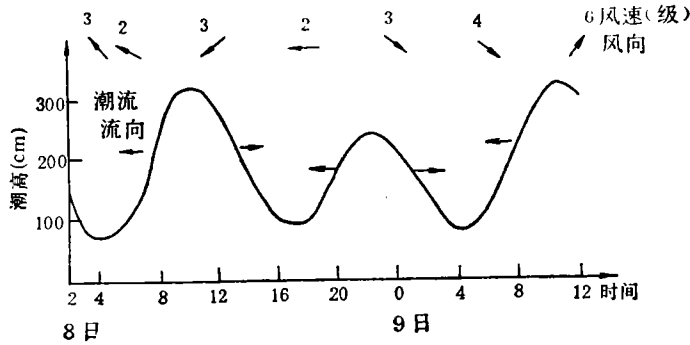


图 8 1990 年 6 月 8 日 2 时—1990 年 6 月 9 日 12 时老铁山水道潮汐、海流流向和风变化图

Fig. 8 The chart about the tide current direction and wind at Laotieshan channel from 0200 June 8 to 1200 June 9, 1990

表 2 1990 年 6 月 8—11 日大连气象台风向风速表

Table 2 Dalian wind direction and wind speed tables from June 8, 1990 to June 11, 1990

观测时间	00 时		03 时		04 时		06 时		12 时		18 时		平均风速
	风向	风速	风向	风速	风向	风速	风向	风速	风向	风速	风向	风速	
6 月 8 日			E	4	ES	3	ESE	2	ENE	3	E	2	2.8
6 月 9 日	NW	3					NW	4	SSW	6	NNW	6	4.8
6 月 10 日	S	4					S	2	SWW	5	SSW	6	4.3
6 月 11 日	S	8					SSW	6	NNW	4	SE	3	5.3

3 结论与前景分析

利用卫星遥感技术监测海上溢油污染从理论和实践上都证明是可行的, 并且具有节约资金, 适时、同步、快速、连续大范围监测优势, 无异是未来实现海洋全面监测的必然手段。尤其是在保护海洋环境; 对非法排污罚款提供依据; 确定油污面积、排污量、扩散规律; 为清除油污制定方案提供资料等方面都具有十分重要的意义。但目前尚存在一系列问题, 需研究解决:

1. 发现溢油污染, 需要全天候监测。然而目前我国接收的 landsat 和 NOAA 卫星

资料都是被动遥感,波段仅限于可见光和近、中红外波段,空中的云、雾、大气湿度等都会影响接收信息效果,不能完成全天候监测。最近我国卫星地面站更新设备,能接收美国最近发射的 landsat-6 欧洲空间局发射 ERS-1 和日本发射的 JERS-1 的 SAR 数据,这样为实现全天候监测带来了希望。

2. 溢油需要跟踪动态监测, landsat-5 时相差,难以完成适时跟踪监测任务。NOAA 卫星时相好,可是精度较差,小规模排污难以监测到。这个矛盾有待于气象卫星平台传感器的更新和我国卫星地面站对多颗陆地资源卫星接收能力的提高方能逐步解决。

3. 溢油量的监测非常重要,涉及到港监罚款数额的确定和油污处理方案的制定。可是污染量的大小决定于油膜面积、厚度。根据影像中颜色和亮度仅能反映出油膜的相对厚度,而绝对厚度需利用微波遥感经过大量试验方能确定。被动遥感其影像颜色、亮度和纹理受太阳高度角,海况,像纸的质量、曝光时间、定影液的配制等多方面因素的影响,难以建立准确的卫星信息与油膜厚度之间的相关模式。

参 考 文 献

- [1] 郑全安,孙元福,帅元勋,孙玉星. 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. 海洋学报,1984年,6(4),532—541.
- [2] H. H. White. Application of remote sensing on seasurface pollution. Sea Technology. 1981, 15—19.
- [3] EOSAT, Prince William Sound Oil Spill. Landsat Data Users Notes. 1989, 4(2).

The Satellite Monitoring of Oil Spill at Laotieshan Channel

Li Xijun

(The Dalian Maritime University)

Chen Weiyang Xiao Quanguang

(Satellite Meteorology Center State Meteorological Administration,
The People's Republic of China)

Ding Kexu

(Aerial Photogrammetry & Remote Sensing Center of Nuclear Industry)

Abstract Satellite Remote Sensing technology is a inevitable mean of monitoring the surface of sea. It played an important part in monitoring the process of spilled heavy oil at laotieshan channel on June 8th, 1990. After Landsat. TM image and NOAA AVHRR image were processed by using special technique, oil concentrations were discriminated from the surrounding water surface on these images. Using the superiority of landsat's precision and NOAA's time phase may determine pollution area, its spread direction and speed.

Key words Satellite, Remote sensing, Monitoring, Oil pollution at sea