

文章编号:1006-7736(1999)03-0001-05

## 海上溢油污染遥感监测的研究<sup>\*</sup>

张永宁, 丁 倩, 李栖筠

(大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 由于海洋溢油的客观复杂性, 卫星遥感监测存在很大的困难。分析总结了海上溢油波谱特征的测试结果, 利用 AVHRR 和 TM 资料, 对几次海上溢油事故的油膜图像进行处理和解译, 得到较为清晰的溢油图像, 它与事故现场调查结果相吻合。

**关键词:** 卫星遥感; 海洋溢油; 油膜波谱

**分类号:** P407.8:P76 **文献标识码:** A

海上溢油污染是最常见的海洋污染之一。溢油均由事故引起, 如船舶(特别是油船)碰撞、翻沉、海上油井平台和水下油管泄漏等。随着海洋运输业和海洋石油开采业的迅猛发展, 溢油事故屡见不鲜, 使海洋环境严重污染, 造成海洋鱼类、鸟类、海藻和海洋哺乳动物的大量死亡。因此, 利用卫星遥感技术及时、准确、全面地监测海洋溢油污染, 积极采取溢油清除和预防措施, 保护海洋环境, 已是刻不容缓的重要工作。迄今, 国内外利用卫星遥感技术监测海洋溢油已有许多成功的例子<sup>[1~4]</sup>, 这些工作分别利用微波或雷达图像, Landsat 卫星的专题扫描仪(TM)图像和 NOAA 卫星的改进型高分辨率辐射计(AVHRR)图像。本文目的是分析海上溢油波谱特征的测试结果, 结合几次海上溢油事故, 利用 AVHRR 和 TM 资料对油膜图像进行处理和解译, 得到较为清晰的溢油图像, 它与事故现场调查结果相吻合。

### 1 海上溢油波谱特征

海上溢油波谱特征的测试分析是溢油污染遥感监测研究的基础性工作, 研究发现, 海上油膜的波谱特征除受外部环境因素(太阳高度角、海风、海流、海浪、海温和水色等)影响外, 还与溢油的种类和组成、油污和海水的融合度及化学反应程度等有直接关系, 这就决定遥感监测海上溢油要比监测陆地污染物复杂得多。

1998年11月5日, 大连海事大学卫星遥感研究室在大连湾外海进行了油膜波谱特征测试试验, 利用国产便携式 VF921B 可见光谱测试仪对煤油、润滑油、轻柴油和重柴油等在不同厚度下的光谱特性进行了精细测试, 获取了大量资料。试验在正午(1100~1400)进行, 天气

\* 收稿日期: 1999-04-08

基金来源: 国家“863”计划资助项目(818-06-03)

作者简介: 张永宁(1959~), 男, 副教授

晴朗,光照条件良好(光照度为64600 cd),海面基本平静,风向偏南,风速3级。

试验波段为 $0.389\sim 1.040\ \mu\text{m}$ ,主要为可见光波段( $0.4\sim 0.7\ \mu\text{m}$ ),因此光谱测试仪是以接收目标物反射的自然光为媒介,反映不同种类、不同厚度的油膜与海水之间反射率的差异,在海面溢油遥感图像上能否识别出油水,其反射强度的差别最为重要。由于油膜是依附于背景海水而存在的,油膜与背景海水间的反射率差异越大,则成像后遥感影像间的反差越显著,从而识别出溢油。

图1是煤油、润滑油、轻柴油和重柴油在不同厚度下的测试结果。分析表明,四种油膜最大反射率均出现在 $0.50\sim 0.58\ \mu\text{m}$ 波段内,煤油波段相对宽一些,重柴油最窄。反射率最大的是煤油(3.47%)和润滑油(3.3%),其次是轻柴油(2.2%),最小为重柴油(1.47%)。分析还发现油膜反射率的大小与油膜厚度有关,对0.1、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mm等不同厚度油膜作了测试,结果表明,

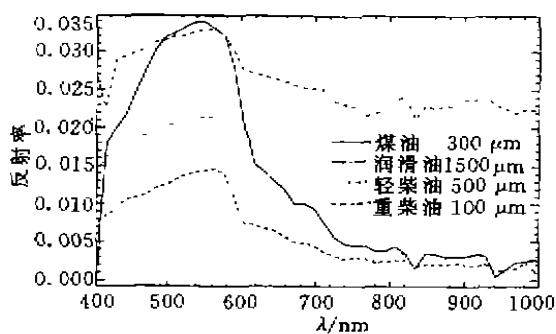


图1 不同厚度四种油膜波谱极大值曲线

轻油种(如煤油、润滑油、轻柴油等)的反射率首先随油膜厚度的增加而增加,达到极大值后又随油膜厚度的增加而降低。煤油油膜的最大反射率在0.2 mm厚度处,轻柴油在0.5 mm,而润滑油在1.5 mm;重柴油厚度越薄,反射率越大,随着油膜厚度的增加反射率降低,这意味着在良好的光照条件下,可见光波段能探测相对薄的油膜。实际上在可见光波段,对于轻油种来说,薄油膜的亮度比周围水体(海水)显得更亮,即反射率较高,而较厚的油膜比周围海水要暗,反射率较低。越厚的油膜,色泽越黑,即使在良好的光照条件下,厚油膜仍比海水要暗得多。对于重油(如重柴油、原油等)油膜,色泽本身比水体暗,即使在良好的光照条件下,反射率也较低。粘稠的油膜与水体比较是更亮还是更暗,主要取决于油膜对阳光是强吸收(亮)或弱吸收(暗)。从水体的吸收光谱分布图像得知,在可见光波段,水体的吸收最小,即透过率最大。由此,通过分析水体和油膜的吸收光谱,可以分辨出海水和油膜。越薄的油膜在水体中不产生热差信息,因此薄油膜对热红外是不可见的,尤其是轻油种。关于厚油膜的红外辐射特性,郑全安等<sup>[4]</sup>做了许多实验研究工作,发现在红外波段( $8\sim 14\ \mu\text{m}$ ),油膜的辐射率低于海水。但也有文章指出,在相同温度条件下,油膜的辐射率大于海水。实际上对于轻油类,油膜厚度小于最大反射率对应的厚度,它的低辐射率产生较低的表面红外温度,从而使油膜温度低于海水;随着油膜厚度增加,反射率降低,而吸收太阳辐射增加,油膜的温度会高于海水温度。对于重油类,随着油膜厚度的增加,辐射增强,在阳光充足的白天,厚油膜的温度会比海水高;而在晴夜,由于厚油膜释放热量比海水快,油膜温度要比海水低一些。

表1列出了煤油、润滑油、轻柴油和重柴油在不同厚度下的反射率极大值分布情况。对0.1~0.5 mm厚度的油膜,反射率极大值依次为煤油→轻柴油→润滑油→重柴油;对0.5~1.0 mm厚度的油膜,反射率极大值依次为轻柴油→煤油→润滑油→重柴油;对1.5~2.5 mm厚度的油膜,反射率极大值依次为润滑油→煤油→轻柴油→重柴油。因此,不同厚度的油膜反映到遥感传感器的信息也不同,如何根据遥感图像中的信息鉴别海上溢油种类和厚

度将有待于进一步精细研究.

表1 不同种类不同厚度油膜的反射率(%)

| 厚度  | 100 $\mu\text{m}$ | 300 $\mu\text{m}$ | 500 $\mu\text{m}$ | 1000 $\mu\text{m}$ | 1500 $\mu\text{m}$ | 2000 $\mu\text{m}$ | 2500 $\mu\text{m}$ |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 煤油  | 2.50              | 3.46              | 1.88              | 1.94               | 1.93               | 1.87               | 1.90               |
| 润滑油 | 1.62              | 1.48              | 1.73              | 1.92               | 3.30               | 2.19               | 2.60               |
| 轻柴油 | 1.75              | 1.94              | 2.30              | 2.12               | 1.69               | 1.78               | 1.62               |
| 重柴油 | 1.47              | 0.63              | 0.62              | 0.60               | 0.59               | 0.56               | 0.55               |

## 2 海上溢油卫星遥感图像解译

海上溢油的及时监测和发现,可以使海监部门尽早采取围油和清除油污措施,减轻污染危害.在海洋溢油卫星遥感监测和处理方面,美国海洋和大气的管理局作了许多研究工作<sup>[2,3]</sup>,国内李栖筠等<sup>[4]</sup>对近海几次溢油事故,用 AVHRR 资料和 TM 资料处理解译出了溢油位置和面积.根据我们对油膜波谱特征测试分析结果,对1995~1996年两次海上溢油事故,利用 NOAA 卫星 AVHRR 和 Landsat-5 卫星 TM 资料,进行分析解译,其结果与现场的调查相吻合.

NOAA 极轨卫星 AVHRR,设有五个通道,拍摄可见光和红外图像,局地分辨率为1.1 km.1通道(0.58~0.68  $\mu\text{m}$ )位于可见光谱区的黄红波段,在良好的光照条件下,利用油膜的反射特性探测溢油,但只能对轻类油种的薄油膜起作用.2通道(0.725~1.10  $\mu\text{m}$ )处于近红外波段,来自油膜对阳光的反射成分仍大于辐射成分,1、2通道合成可以探测薄油膜.3通道(3.55~3.93  $\mu\text{m}$ )处于中红外波段,对温度的灵敏度高,多用于夜间温度的观测,油膜与周围海水温度的差别主要取决于油层厚度、油种类和天气状况等.4通道(10.3~11.3  $\mu\text{m}$ )和5通道(11.5~12.5  $\mu\text{m}$ )处于热红外波段,常用于探测海表面温度,可以根据厚油膜与背景海水温度的差异分辨出溢油.

Landsat 卫星 TM 设有7个通道,除6通道的热红外波段以外,局地分辨率均为30m,它用16天时间对地球观测一遍.1通道(0.45~0.52  $\mu\text{m}$ )、2通道(0.52~0.60  $\mu\text{m}$ )和3通道(0.63~0.69  $\mu\text{m}$ )均位于可见光谱区,可以探测到较薄油膜形成的反射信息,测试结果表明,在相同光照条件下,2通道探测薄油膜效果最好.4通道(0.76~0.90  $\mu\text{m}$ )近红外,5通道(1.55~1.75  $\mu\text{m}$ )和7通道(2.08~2.35  $\mu\text{m}$ )短波红外,合起来又叫反射红外,原因是在这个波段内,来自太阳光的反射成分大于油膜的辐射成分,多用于探测薄油膜.6通道(10.4~12.5  $\mu\text{m}$ )处于热红外波段,利用油层与背景海水之间的温度的差异,可以探测重油类和厚油层.

1993年5月14~18日辽东湾双台子河口以南海面发生大面积原油污染事故.由于 NOAA 卫星 AVHRR 监测海洋溢油直接受到天气条件的影响,事故发生期间,只有5月14、17和18日天气晴朗少云,利用 NOAA-11号和 NOAA-12号卫星资料,解译溢油图像.由油膜波谱测试分析结果得知,识别原油油膜的最好波段为热红外,通过对热红外通道图像资料进行增强处理,在影像上显现出了原油油膜污染的异常高温区,其污染区先由西向东移动,后向北扩散到双台子河口岸边的养殖区.图2给出了5月14日 AVHRR 的4通道溢油图像,淡白色的区域为原油污染区.据调查这次原油污染事故是辽河油田的笔架岭2号油井泄漏,在西南风的吹拂下,飘向河口海域,给当地渔民的养殖区造成重大的经济损失.因此,由 AVHRR 图像不仅可以解译出油污染位置和面积,而且还可以确定油膜漂移的方向和速度.

1996年5月1日“浙普渔油-31”船在大连老铁山水道撞船沉没,造成大面积润滑油污染事故.5月2日天气晴好,3~7日多云,8日天气转晴,并有 Landsat 卫星通过该区.于是我们使用了5月2日白天的 AVHRR 资料和5月8日的 TM 资料,对溢油事故图像进行分析处理,图3给出了 NOAA 卫星3通道的图像,在老铁山水道有一片反射率比周围海水高的暗白色区域,就是润滑油污染区,它与撞船地点及事故调查结果相吻合.图4是5月8日 TM 的4、5通道合成图像,在沉船事故附近的东北部,存在几个淡黑色条带区,其条带呈西北-东南走向,通过与大连海监局5月8日飞机航测的资料进行比较,确认这些条带就是润滑油污染区.另外,由事故后几天该海域的风向、风速和海流资料,进一步证实溢油污染区为条带状.

### 3 结论

溢油波谱特征除受外部环境因素影响外,与溢油种类和油膜厚度有密切的关系.对于轻



图2 1993年5月14日辽东湾双台子河口溢油图像  
NOAA-12 AVHRR 4通道

油种,反射率首先随油膜厚度增加而增加,达到极大值后又随油膜厚度增加而降低,可以利用其反射特性分辨出油膜和背景海水;对于重油种,厚度越薄,反射率越大,随着油膜厚度的增加反射率迅速降低,辐射特性增大,可以利用温度的差异分辨出油膜和背景海水.

在良好的天气和海况条件下,NOAA 卫星的 AVHRR 图像完全可以用于大面积海洋溢油的监测识别. Landsat 卫星 TM 图像可以清晰地探测出小面积的海洋溢油污染,但由于每隔16天才重复扫描同一区域,使其应用受到限制.

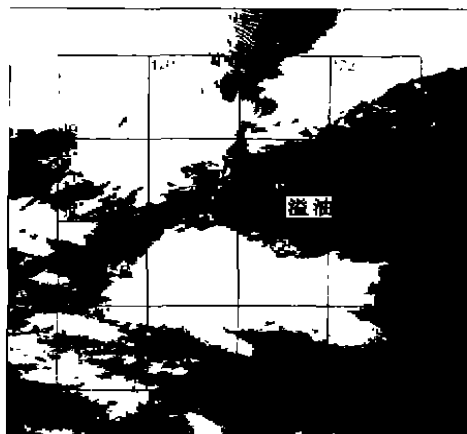


图3 1996年5月2日大连老铁山水道溢油图像  
NOAA-14 AVHRR 3通道



图4 1996年5月2日大连老铁山水道溢油图像  
Landsat-5 TM 4、5通道合成

高超、黄凤荣、阎殿武、段岩燕等同志参加溢油波谱试验,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Sherman J W. Historical perspectives; marine oil spill detection by remote sensing[R]. In Proc New Orleans, Louisiana: 1st Thematic Conference, 1992.
- [2] Tseng W Y. Oil spill detection from NOAA-AVHRR imagery[J]. Journal Remote Sensing, 1995, 16 (18): 3481-3482.
- [3] Tseng W Y, Chiu L S. AVHRR observations of Persian Gulf oil spills[R]. In Proc IGARSS'94, 1994, 779-782.
- [4] 李柄筠,陈维英等. 老铁山水道溢油事故卫星监测[J]. 环境遥感, 1994, 9(4): 256-262.
- [5] 郑全安,孙元福等. 海面溢油航空遥感监测方法研究-波谱特征及试验结果分析[J]. 海洋学报, 1984, 6 (4): 531-541.

## A study on monitoring of oil spill at sea by satellite remote sensing

ZHANG Yong-ning, DING Qian, LI Qi-jun

(Navigation College, Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China)

**Abstract:** As a result of natural complexity of oil spill at sea, there is the great difficulty in monitoring oil spill by satellite remote sensing. This paper analytically summarizes the results obtained from surveying spectral characteristics of spill oil film at sea. Making use of AVHRR and TM data, the image of oil spill in several marine accidents has been processed and identified, and the place and area of oil spill in obtaining images are the same as investigation in the scene of accidents.

**Key words:** satellite remote sensing; marine oil spill; oil film spectrum