

多波段摄影监测海面油溢的实验*

鲍士柱 徐庚庆

(中国科学院遥感应用研究所)

1989年1月12日收稿

摘 要

本文介绍了用船载多波段摄影对海面油溢进行监测的实验。实验表明,海水与油膜的光谱反射虽然较低,但在0.3—0.5微米光谱区却有较大的对比度,可获得清晰的油溢图像。实验还表明,选择最佳光谱段组合,从光谱近紫外区到红区均能获取海面油溢图像,其中以紫蓝光谱区最为理想,近紫外区和蓝绿光谱区次之,红区较差。

本实验为水面环境污染监测和科学研究提供了一种较好的实时监测手段。

关键词 多波段摄影 油溢 反差 最佳光谱段选择 曝光量

我国是一个海域辽阔、海岸线漫长、海湾和港口众多的国家,随着沿海石油工业和海运事业的发展,随着经济技术开发和对外开放,海面石油污染便成了一个严重问题。因此,开展对近海和海湾海面油污的监测,也就成了当前海港管理急待解决的课题。

许多国家把遥感技术作为实时、快速探测海面油溢源的一种有效手段,其主要根据是油膜在不同光谱区反射、散射和吸收也不同的特性,选择适当的光谱区监测油溢,并设法增强油污与其背景——海水之间的对比度,达到确定油膜覆盖范围,量测油膜厚度进而求得油溢量的目的。

1987年上半年,中国科学院遥感应用研究所,在大连港监局的合作和支持下,用船载多波段摄影对大连海湾海面油溢进行了监测实验,取得了令人满意的结果。

一、海面油溢监测的光谱摄影原理

海水的透射、反射和散射特性,照度和亮度的分布,是影响海洋遥感的重要因素。当太阳光入射到水面后,长波部分的光,基本上被薄层水体吸收,透过的只有短波部分的紫光。光穿透过的海水越深,它的衰减越严重。

就获取目标图像而言,一般需选择最佳光谱区,以使其对目标物的反射辐射光谱有最佳响应,并使目标物体与背景有较大的对比度。

任何一个摄影系统(包括光源,镜头,滤色片及感光材料),对被摄目标物的光谱响应,其数学表达式可写成:

* 参加本实验的还有朱宝璋、吴坚和周丽华等。

$$S_T = \int_{\lambda_i}^{\lambda_i+J} f(\lambda)F(\lambda)O(\lambda)R(\lambda)S(\lambda)\cdots d\lambda$$

式中： S_T 为系统对目标物的总光谱响应； $f(\lambda)$ 为所用光学镜头的光谱响应； $F(\lambda)$ 为滤光镜的光谱响应； $O(\lambda)$ 为感光材料的光谱灵敏度； $R(\lambda)$ 为目标物的光谱反射率； $S(\lambda)$ 为光源光谱能量分布， J 为组成摄影系统的组分个数。

在上式中，除它的光谱反射率 R 外， S_T 是系统各组分光谱响应(自变量)的函数，而其它几个因素可作适当组合，使 S_T 值达到设计各种不同组合的预期目标，从而将被摄目标清晰地成像于胶片上，这就是遥感的物理学基础。

二、海上油溢监测最佳光谱段的选择

多波段摄影是利用多台相机，配以不同光谱段的滤光镜，进行光谱波段分割，并组合各类光谱的感光胶片，对海面目标(油膜)进行同步摄影。从多波段摄影角度考虑，在选择最佳摄影光谱段时，主要突出目标与背景的对比度，而成像于图像上。图 1 为海水—油膜的光谱反差变化曲线¹⁾。从图中可知，油、水本身的光谱反射率较低，但以海水为背景的油膜，在 0.4 微米处反差最大，若将曲线作适当的外延，预计在近紫外光谱区也会有较大的反差值。据分析，在 0.3—0.45 微米之间对比度最大，可利用这一谱区油与水反差最大的特性进行摄影，达到获取油与水清晰轮廓图像的目的。

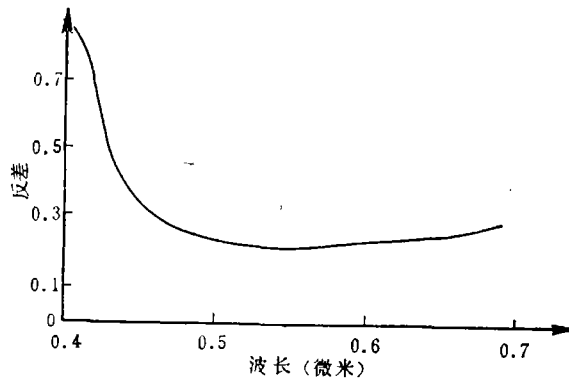


图 1 海水—油膜的光谱反差变化

Fig. 1 Spectral contrast of Seawater and oil spill

海水与油污的光谱反射特性，国内外已有不少研究。由于海水光谱反射率，开始时随波长增加而增加，并在蓝、绿光谱区出现部分最大值，以后反射率逐渐下降^[1]，根据海水的光谱反射率变化规律，结合图 2 海水、轻油和重油的光谱反射率曲线^[2]，以及由于油污的反射率高于海水的反射率、并在 0.42 微米附近有一反射峰的特点，可知这是摄取油溢图像较理想的波段。同时也证实了紫蓝光谱段为获取海面油溢图像的最佳工作窗口。

影响海上摄影的因素较多，为获取海水—油膜的最佳图像，除研究海水与油膜的物理

1) 童庆禧, 海洋石油污染的遥感, 中国科学院地理研究所, 1978 年 10 月。

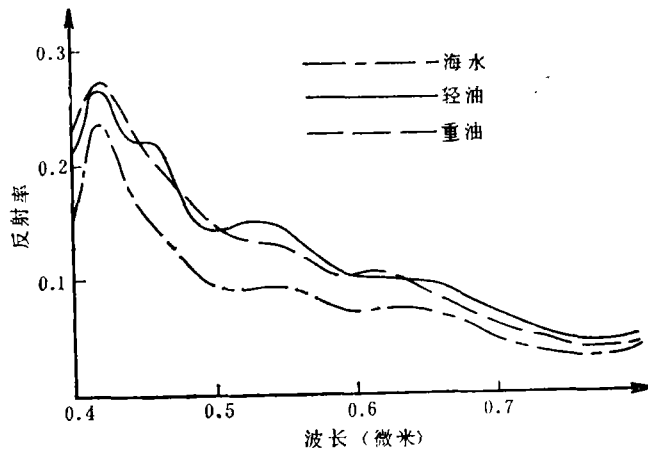


图 2 海水、轻油、重油的光谱反射曲线

Fig. 2 Spectral reflection Curve of seawater, light oil and heavy oil

特性、海水电磁波特性外,进一步分析各光谱区的波谱特性、滤光镜的光谱效应以及感色胶片材料的性能等因素,有利于进行最佳光谱组合的选择。

(1) 紫外光谱区(0.3—0.4 微米)

对于采用被动式遥感的系统来说,它的摄影光源主要为太阳光,包括部分散射光,只限于白天摄影。感光胶片在短波部分不仅对紫外,而且对 X 射线、 γ 射线都感光。考虑到由于大气臭氧的吸收,使短波部分的入射光中已无多少紫外光;海面中的油膜反射辐射较强,产生一定的荧光特性;太阳辐射在短波段的波长局限于 0.25 微米,基本上不能到达地面,因此,紫外摄影主要在 0.40 微米波长以下进行,同时需要用紫外感光摄影胶片。由于普通相机镜头受加工材料限制,一般在 0.38 微米以下就不透过,因此需要选择高质量的石英玻璃制作紫外光学镜头,再用胶片和紫外滤光镜加以配合,便可摄取比较理想的清晰油溢图像。

(2) 可见光及近红外光谱区(0.40—0.90 微米)

从可见光到近红外光谱区,不同的波段对油溢的成像效果也不一样。由于油膜在这一光谱区的光谱反射率很低,到了红区开始减小,而且海水与油膜之间的影像密度值,由蓝、绿光谱区逐渐向红光区平滑衰减,以致产生低反差比,使油膜与背景在图像上难以区分。为了突出可见光的影像密度,减少大气散射的影响,在实验中选择了较窄的电磁波段区,进行细分波段摄影,增强海水与油膜的反差效果,从而得到不同光谱段的影像。

从图 1 的光谱反差曲线可以看出,在波长短于 0.54 微米的光谱区,海水与油膜的光谱反差较大,波长越长,海水与油膜的反差越弱,但到红区后,反差又有所增加。实验证明,利用光谱区的这一窗口,进行近红外摄影,也可取得理想的油溢图像(图版 I 图 3, 4)。

鉴于海上多波段摄影的目的,主要是监视海面油溢事故,需快速、实时地获取油溢图像,在实验中选择了阴天条件进行摄影,所获取的油溢图像中油膜与背景轮廓清楚。表明油膜与海水在阴天的反差也较大,如果再对吸收和反射作适当的选择,则可为海面多波段摄影提供有效时机。

(3) 海上油溢摄影最佳光谱段的组合

所谓最佳光谱段组合,是将多台相机、不同光谱段的滤光镜和胶片加以组合,进行同步性的目标摄影。其中摄影光谱段的划分和选择极为重要,关系到能否获取高质量的清晰的遥感图像。

为了摄取海水—油膜之间最大的反差图像,在地面进行了各种光谱段组合的模拟摄影实验,表 1 列出了初步筛选出的几组比较理想的最佳光谱段组合。

这 6 种组合均能摄取海面油溢图像(图版 I 图 3,4,封二的图 5—9),其中使用紫外光学镜头并配以紫外滤光镜和 35A 滤光镜摄影时效果最好,即紫外和紫、蓝光谱区。其次是 47B 滤光镜,即蓝光谱区和蓝、绿光谱区,再次是红区。普通镜头同紫外镜头相比,在配以 2402 型和 1021 型胶片时,摄影效果相似,在与紫蓝滤光镜组合时,摄取效果较好(封二的图 8 和 9)。

需要指出的是,获取油溢图像轮廓的清晰程度,还与曝光条件和冲洗条件有直接关系,因此,尚需选取正确曝光量和显影加工方法。

表 1 油溢监测摄影光谱段组合

Table 1 photographic Spectral band combination for oil Spill detection

相机镜头 (毫米)	紫外焦距 105	普通焦距 80,50 及紫外 105	普通焦距 80,50	普通焦距 80,50	普通焦距 80,50	普通焦距 80,50
滤光镜	紫外	35A	47B	蓝光谱段	雷登 12	HF-3
波长范围 (微米)	0.30—0.40	0.35—0.45	0.40—0.46	0.40—0.50	>0.50	0.40—0.90
胶片类型	柯达 2402	柯达 2402 国产 1021	国产 1021	国产 1021	国产 1821	彩色负片
感色范围 (微米)	0.25—0.70	0.25—0.70 0.40—0.70	0.40—0.70	0.40—0.70	0.50—0.85	0.40—0.70

三、海面油溢多波段摄影曝光量的选择

正确曝光量的选择,与胶片感色特性、照度分布、海水的物理和光学特性、相机性能、滤光镜透过系数、摄影角度以及各光谱区的影响等均有直接关系。由于影响海面摄影的因素较多(包括海面镜面反射、海面粗糙度及海水的电磁波特性等),因此,目前海面摄影曝光量计算尚无成熟的公式。根据我们的工作实践,在选择摄影曝光条件时应考虑以下几点。

(1) 按胶片技术参数和有效感光度,特别是胶片感光 $D-\log E$ 特性曲线,选定较适当的曝光量。

(2) 根据各光谱段组合中的相机光学性能(包括镜头光谱曲线、滤光镜的光谱透过率和景物照度),结合胶片感光特性,确定不同光谱段的曝光量。

(3) 通过地面模拟摄影实验和冲洗处理,进行胶片密度测试,提供相似的曝光量。

(4) 对按上述方法选定的曝光量,结合现场当时的天气条件、照度分布、摄影光线方

向、能见度及海面景观等要素作实时修正。

正确的曝光量选择,会使摄影产生高质量的清晰的影像效果。即是出现影像曝光不足或过度的情况,也可在冲洗处理时加以弥补。

四、多波段摄影胶片的冲洗处理

摄影胶片的冲洗,关系到遥感图像的质量以及判读和分析的正确与否,因此,必须认真操作,不可掉以轻心。

多波段摄影胶片处理与一般的黑白全色胶片有类似之处,在处理时对于不同类型的胶片,只要严格遵循厂家推荐的配方和加工规范,一般都会取得较好的结果。但由于多波段摄影具有多个光谱段,因而产生多种不同的曝光量,经过处理后的胶片上,同样也产生不同的光谱影像密度值。因此,为了获取海水与油膜的最大对比度,除利用滤光镜进行分割外,在加工处理过程中应合理掌握感光材料的 $D-\log E$ 特性曲线,使二者的反差拉大。表 2 为海面油溢实验所用的各类胶片的照相性能。由于海水与油膜之间对比度较小,为便于分清目标和背景,选用 DK-19 显影加工配方,此加工方法对显影温度和冲洗时间等都定有严格的要求和措施。经验表明,在冲洗处理时,显影绝对不能过度,而显影相对不足时,反而会出现较好的图像效果。

表 2 各类胶片照相性能
Table 2 photographic characteristics of varied films

参数 性能 胶片类型	感色范围 (毫米)	D_0	$S_{D_0 + 0.85}$	γ	解像率 (R) (线/毫米)
1021	400—700	0.07	750	2.26	93
2402	250—700	<0.20	200	0.08	50
1821 B G (彩色红外) R	400—850	0.12 0.12 0.12	196 172 114	1.7 1.6 2.0	50
彩色负片	400—700		100		

胶片在冲洗处理时,应尽量选用高反差药液配方,防止由于显影过度,而使油溢图像轮廓不明显,从而给判读带来困难。

五、海上船载多波段摄影监测油溢的方法

为拍摄海面油溢图像,可采用在监测船台上架设一定高度的摄影支架,并将多台相机固定其上,利用遥控装置同步曝光,以获取多种不同摄影组合系统的油溢图像。

摄影参数的选择,取决于摄影相机高度、摄影倾斜角和相机焦距。这三个参数又决定于摄影范围的大小、远近及海面目标的宽度。

根据摄影学的几何原理¹⁾和海面油溢摄影的实际,广焦距容易引起图像畸变,边缘影像不清晰,而长焦距由于视场角较小,所摄范围受到限制,满足不了任务的要求。实验表明,船载多波段摄影,高架平台设置高于 10—15 米为好。摄影倾斜角原则上视被摄目标图像的清晰程度而定,过小,影像模糊,难以区分海水与油膜,过大,摄影范围太小,一般在 7—15 度为宜。为了控制倾斜量测精度,要求多台相机在纵向倾角(即 γ 方向)测定的精度小于 0.5 度。横向倾角(α 方向)可用水平准直仪控制,达到一度以内的精度。摄影时最好将油溢目标放置于照相机前方对称位置,并使相机平面与被摄目标保持平行。

影像负片经彩色密度分割处理,可使图像更清晰而准确地显示油溢分布范围。并可根据色调的变化,为区分油溢分布的不同程度,计算海面油溢分布面积,测定油膜厚度提供一定的依据(图版 I 图 10 和 11)。

船载高架多波段摄影监测海面油溢,图像清晰,油与水之间界限分明,实时、快速,效果良好,简单可行,易于掌握,是海上监测油溢的一种有效手段。它不仅可用于海上监测油溢事故和港口排污,还可为近海海岸带及港口、湖泊、水库污染提供执法依据。

参 考 文 献

- [1] K. Я. 康德拉捷夫著(李怀瑾译),太阳辐射能,科学出版社,1962年。
 [2] S. White, Remote Sensing for oil pollution control along coastal water of the U. S., 12th proceeding international symp. on R. S. of environm., pp. 239—249.

Multispectral Photography Applied to Detecting Sea Oil Spill

Bao Shizhu Xu Gengqing

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Abstract

This paper discusses the sea oil spill detection using multispectral photographic technique. The experiment shows although sea water and oil spill have low spectral reflection values, but in 300 to 500 nm spectral region, they have larger contrast. It is possible to get good oil spill images in that spectral region. The experiment also shows that it is possible to get oil spill imaging from near ultra-violet to red spectral region with optimal spectral band selecting, but the violet-blue region is a best band, then blue-green, and the red region is poor for oil spill imaging. The results show that this technique could be used for detecting sea oil spill and sea environment pollution.

Keywords multiphotography oil spill contrast optimal spectral band selecting exposure



图3 彩色负片上的油膜图像



图4 彩色红外片上的油膜影像

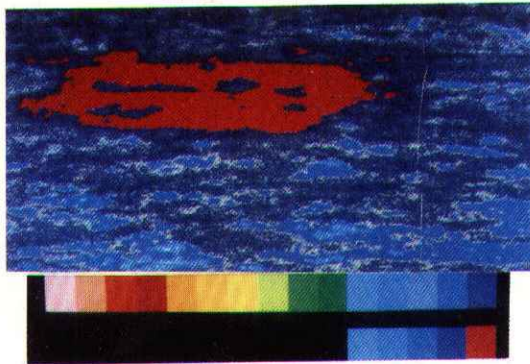


图10 油膜在紫蓝光谱区的影像

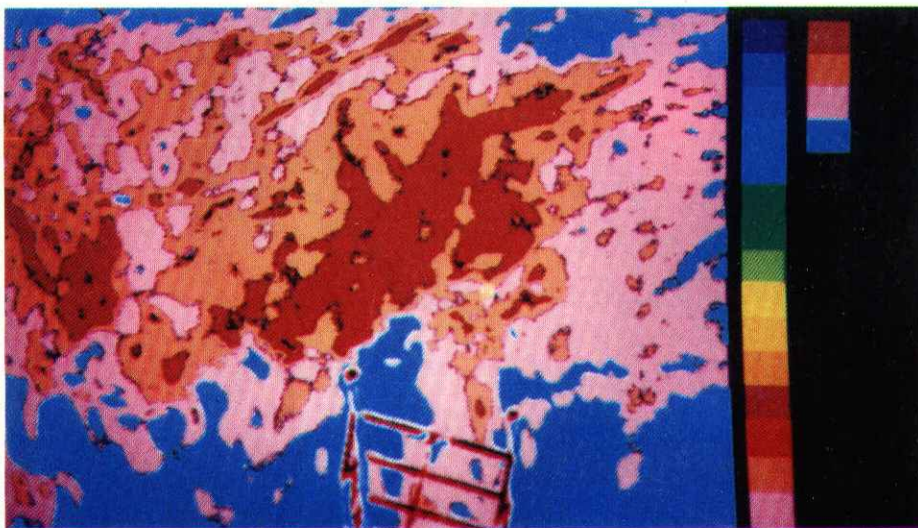


图11 油膜在紫外光谱区的密度分布与图像
红色为厚油膜，桔黄为中度油膜，粉红为薄油膜，蓝色为海水

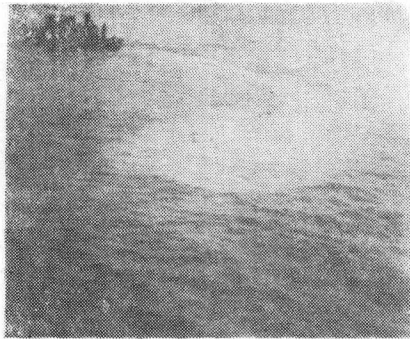


图 5 紫外光区油溢图像

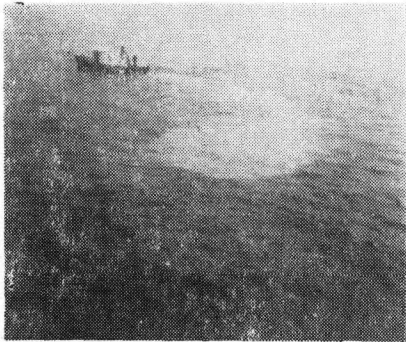


图 6 紫蓝光区油溢图像

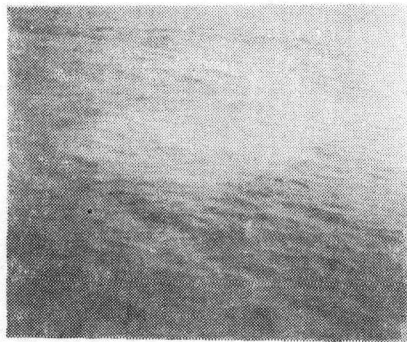


图 7 蓝光区油溢图像

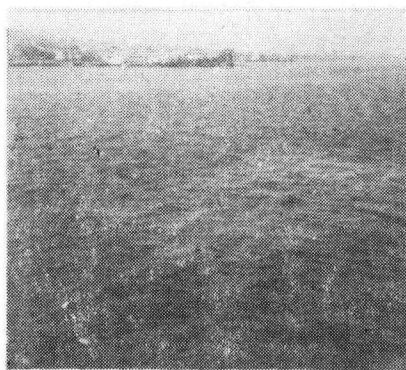


图8 2402型胶片紫蓝光区油溢图像

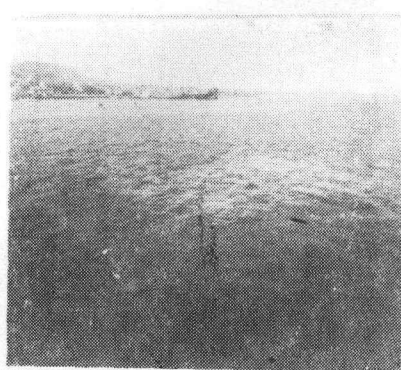


图9 1021型胶片蓝光区油溢图像