第3卷 第3期
1981年9月

海 洋 学 报
ACTA OCEANOLOGICA SINICA

Vol.3, No.3
September, 1981

3厘米扫描成像微波辐射计在海洋感感中的初次应用

孙元福　郑全安*

(国家海洋局第一海洋研究所)

一、仪　器

所有物体都不断地发出电磁辐射，在微波谱段内黑体的辐射量 B_{bb} 可用瑞利—金斯公式表示：

$$B_{bb}=\frac{2KT}{\lambda^2}$$

式中：K——玻耳兹曼常数，

T——黑体的绝对温度，

λ——波长.

实际物体并非绝对黑体，在遥感技术中，基于某些简化和假设，实际物体的微波辐射量可用亮度温度（辐射温度）T_b 来表征. T_b 的定义为：

$$T_b=\varepsilon T$$

式中：ε——实际物体的发射率，

T——实际物体的热力学温度.

微波辐射计就是用来测量物体亮度温度 T_b 的仪器.

本次实验使用的微波辐射计是中国科学院长春物理所研制的3厘米扫描成像微波辐计；其主要技术参数为：[1)]

波长——3厘米；　　天线直径——80厘米；

温度响应范围——100～300°K；　　天线波束角——2°47′；

温度灵敏度——±1°K；　　天线扫描角——20°；

积分时间——1S；　　天线增益——34.5分贝.

辐射计以灰阶和数字图像的方式记录目标的亮度温度. 灰阶图像的显示，是以色调深

本文1980年4月9日收到。

* 长春物理所史长青、王庚有、赵淑芳、滕叙究、杨广林等同志参加了飞行实验。参加实验工作的还有刘宝银、吴永森等同志，于衍桂同志参加了资料的整理工作。

1) 仪器技术参数由长春物理所测定。

浅不同来反映地物亮度温度的．在本文所用的灰阶图像中，色调浅说明目标的亮度温度高．例如：一般陆地的亮度温度高于水体的亮度温度，所以在灰阶图像上陆地部分呈白色；水体部分呈黑色．

在灰度图像装置记录信息的同时，数字图像装置也对目标的亮度温度进行记录和显示．在数字图像上把目标亮度温度分为 20 个等级，分别用数码 01234567890.(10)1.(11)2.(12)3.(13)4.(14)5.(15)6(16)7.(17)8.(18)9.(19)来代表．每个数码究竟代表实际物体的那一个辐射温度，由仪器定标确定．本次实验定标数据如下：

数码	亮温度 T_b	数码	亮温度 T_b	数码	亮温度 T_b	数码	亮温度 T_b
0		5	150±5°K	10	200±5°K	15	250±5°K
1	110±5°K	6	160±5°K	11	210±5°K	16	260±5°K
2	120±5°K	7	170±5°K	12	220±5°K	17	270±5°K
3	130±5°K	8	180±5°K	13	230±5°K	18	280±5°K
4	140±5°K	9	190±5°K	14	240±5°K	19	290±5°K

因此，利用数字图像可以直接得出被测地物的亮度温度．例如：数字图像上表征海水的数码为 2，那末海水的亮度温度就是 120±5°K．由于灰阶图像和数字图像是同步记录的，因而它们是相对应的，即色调浅，对应的数码数值大．

实验中，微波辐射计用直升飞机作为工作平台．天线扫描方向垂直于飞行地面轨迹．图 1 是其工作示意图．

在天线一个周期的扫描时间内，灰阶图像上得到一条灰阶带．此灰阶带所对应的地面面积 S 用下式近似表示：

$$S = 2HVT \operatorname{tg}\theta$$

式中：2θ——天线扫描角；H——飞行高度；V——飞行速度；T——扫描周期；

在数字图像上得到的是一行由18个数码组成的“数字带”，形如：

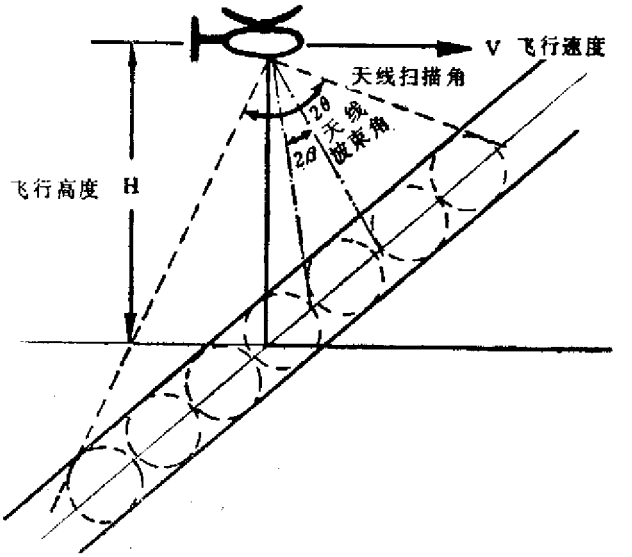

图 1　微波辐射计工作示意图

5 1 1 2 3 5 1 1 2 2 1 1 1 3 4 2 1 5所示. 两端的两个数码表示航标，中间的16个数码表征信息. 16个数码表示一次扫描取样16次. 每个信息码所对应的地面扫描单元面积A为：

$$A=\frac{2HVT\,\mathrm{tg}\,\theta}{n}$$

式中：H——飞行高度；2θ——天线扫描角；V——飞行速度；T——天线扫描周期；n——取样次数.

考虑到相邻两次取样的重迭，所以一条“数字带”所对应的地面面积并不是16次取样后相加的总和.

微波遥感与可见光、红外遥感相比，其分辨力较低. 这给分析解译工作带来一定困难. 因为是初次应用在海洋上，所以我们在拍摄微波图像的同时用航空相机进行了同步摄影，并且在实验期间及实验后进行了现场观测和实地勘察，将取得的微波图像，可见光照片及实况资料进行对比分析，从中提取有用信息，为实用积累必要的基础资料.

二、海面油膜微波图像解译

利用微波辐射计探测海面油污染是比较有效的方法之一，微波辐射计对油膜复盖海面的响应很敏感. 被油膜复盖的海面与干净海水的辐射特性不同. 在海况较好的情况下，漂有油膜的海面微波发射率较普通海水高得多. 因而微波辐射计能探测出油膜的存在.

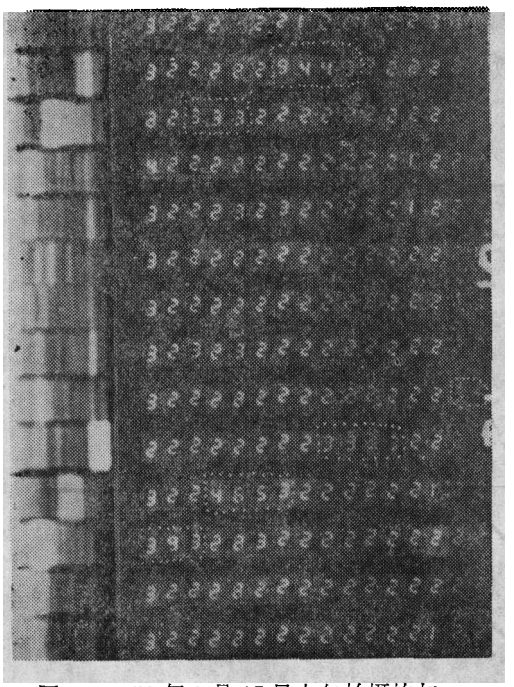

图2 1979年9月17日上午拍摄的灰阶和数字图像

2码为海水；3.4.5.6码为油膜.

图2是微波辐射计探测到的海面油膜的灰阶和数字图像. 油膜是人工布放的国产重柴油. 油量约400公斤. 飞机在油膜复盖海面上空往返飞行数次进行探测. 图2的微波图像是飞经油膜上空两次的探测结果. 灰阶图像上，一次扫描所得的灰阶带中较突出的亮点即为油膜. 在数字图像中，数码2为海水，数码3、4、5、6为油膜. 可以看出，油膜较海水的亮度温度高出10～40°K. 由于仪器性能限制，加之油量有限，油膜面积不能充满天线波束角. 同时油布放后扩散较快，油膜逐渐变薄，单位面积内油溢量在不断减少，这些都使油膜的发射率降低. 正由于这些因素的影响，数字图像上只有几个数码表征油膜的存在，并且数码的数值大小不等.

根据仪器数码定标资料和海面同步实况测量数据，按公式$T_b=\varepsilon T$，可以算出海水的发

射率和油膜复盖海面的发射率．本次实验，数码 2 表征海水，其亮度温度 T_b 为 120°K，实测水温 $T=297°K$[1)]，所以海水的发射率为：$\varepsilon=0.40$，而油膜的发射率，当数码为 3 时，亮度温度 T_b 为 130±5°K，则发射率 ε 为 0.44；当数码为 6 时，亮度温度 T_b 为 160±5°K，则发射率为：0.54．发射率的变化是由于油膜的厚度等不断变化的结果．

微波辐射计具有全天时工作能力，可以随时对海洋的油污染进行监测．在本次实验中，也进行了夜航实验．图 3 是 1979 年 9 月 14 日傍晚拍摄的微波数字图像．被探测的油膜是胜利原油．数码 2 是海水，数码 3、4、5 是油膜的响应．可以看出油膜的辐射温度较海水高出 10—30°K．

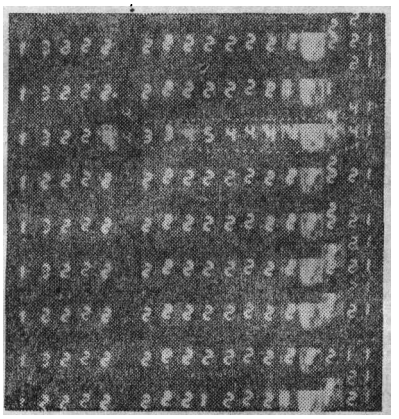

图 3　1979 年 9 月 14 日晚拍摄的油膜微波数字图像
2 为海水；3，4，5 为油膜。

除对人工布放的石油、重柴油进行探测外，实验中还对实际存在的石油污染进行探测．图 4 是于 1979 年 9 月 17 日下午拍摄的微波灰阶和数字图像，其地面目标是胶州湾附近的一个小岛（石岛子）．在灰阶图像上，陆地部分是白色，海水呈黑色．在海岛周围，与陆地部分相比较色调较深的灰阶是表面漂有油膜的海面．在数字图像上，数码 5、6 以上为陆地，数码 2 为海水，3、4 码是表面漂有油膜的海水．图 5 是同步拍摄的可见光照片．对照可见光照片可以看出，整个小岛的周围都有油膜存在．从数字图像中还可看出漂有油膜的海面比邻近海面的亮度温度高约 10—20°K．

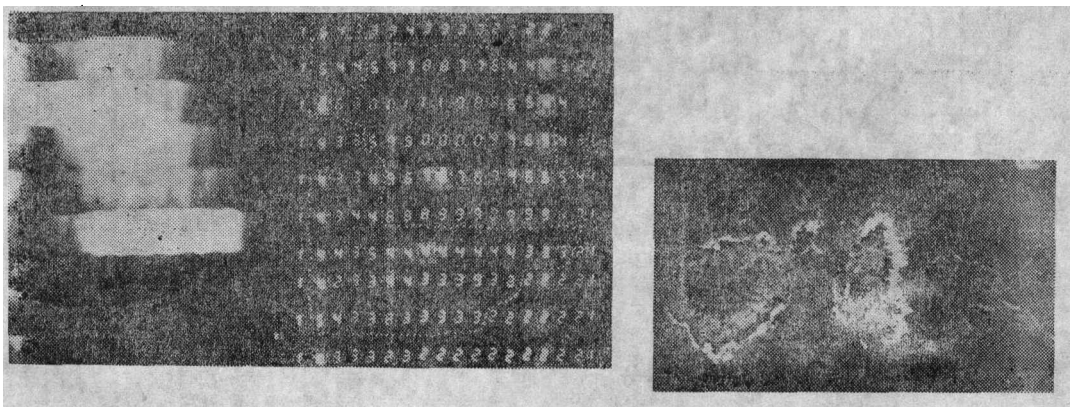

图 4　1979 年 9 月 17 日下午拍摄的微波图像
2 为海水；3，4 为漂有油膜的海水；5，6 以上为陆地。

图 5　与图 4 同步拍摄的可调光照片

1）实测水温为表面水温表测得的数次测量的平均值。

三、海岸带微波图像的分析解译

从微波图像中可以看出，海岸的地质地貌特征得到了不同程度的反映，提供了某些地质方面的信息.

（一）水陆边界的区分

在灰阶和数字图像上，水陆边界都十分鲜明，其中灰阶图像更为直观. 岸线的几何形状得到了粗略的反映. 这是因为水体和陆地的微波发射率差异很大，其亮度温度相差几十度，因而它们在微波图像上有明显差异. 在灰阶图像中，陆地呈白色，水体呈黑色；在数字图像中，数码数值大的是陆地，数码数值小的是水体. 例如：数码大于5、6的是陆地，而表征水体的数码为2、3、4.

图6是脱子岛（位于胶州湾附近）一侧的微波图像. 图7是同步拍摄的可见光照片. 对比两种照片可以看出，微波图像不但反映出了水陆边界线，而且对陆地参差不齐的形状也大致勾划出来. 从数字图像可知，陆地部分的亮度温度较海水高30—100°K. 因而利用微波图像区分水陆边界，粗略地划出海岸线的几何图形是完全可行的.

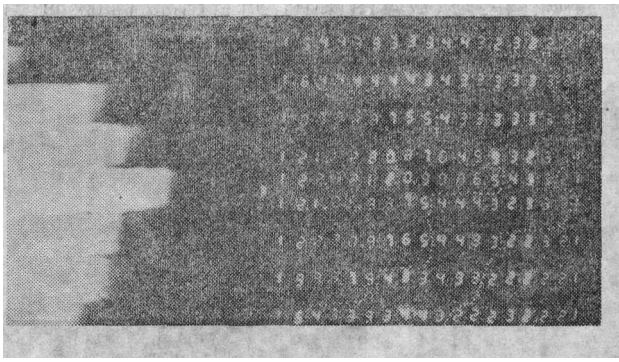

图6 脱子岛的微波图像
1979年9月17日上午拍摄

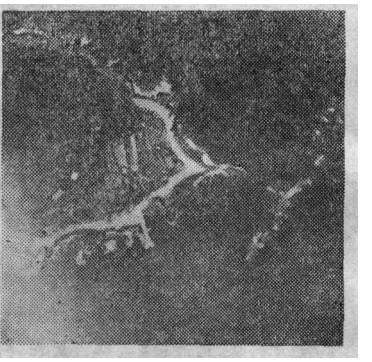

图7 与图6同步拍摄的可见光照片

（二）几种类型海岸微波图像的分析

在微波图像中，几种不同类型海岸均有响应. 特别是数字图像对海岸的物质组成、各种物质的含水量等均有明显反映.

1. 砂质海岸

图8是沙质海岸的灰阶和数字图像. 图9是同步拍摄的可见光照片. 灰阶图像比较直观的给出了水陆边界线. 黑色是水体，白色是陆地. 介于黑色和白色之间的色调是泡沫复盖的海面和湿沙堤两种物质的平均响应. 利用数字图像，并与可见光照片对比可知，此段

海岸大致可划分为四个部分，数码 2、3、4 为海水，5、6 码是湿沙堤（潮间带，含水量较高），8、9 码为干沙堤，10、11码以上是复盖着稀疏灌木和草皮的干沙堤.

如前所述，由于受仪器性能的限制，以及被测目标面积大小等因素的影响，数字图像上给出的等值区（等亮度温度区）并非严格地对应地面上的不同物质，尤其是两种不同物质，或是同一物质但含水量有较大差异的交界处，微波辐射计所响应的只是平均值．并不能严格地区分开．但是不同物质，或是物质相同，含水量等不同，在微波图像上还是完全能反映出来的．例如，对于砂质海岸，微波图像上的差异反映了沙堤含水量不同.

表 1 是微波辐射计测得的土壤含水量与发射率等参数的关系．表 2 是本次实验测得的砂质海岸干、湿沙堤的微波发射率.

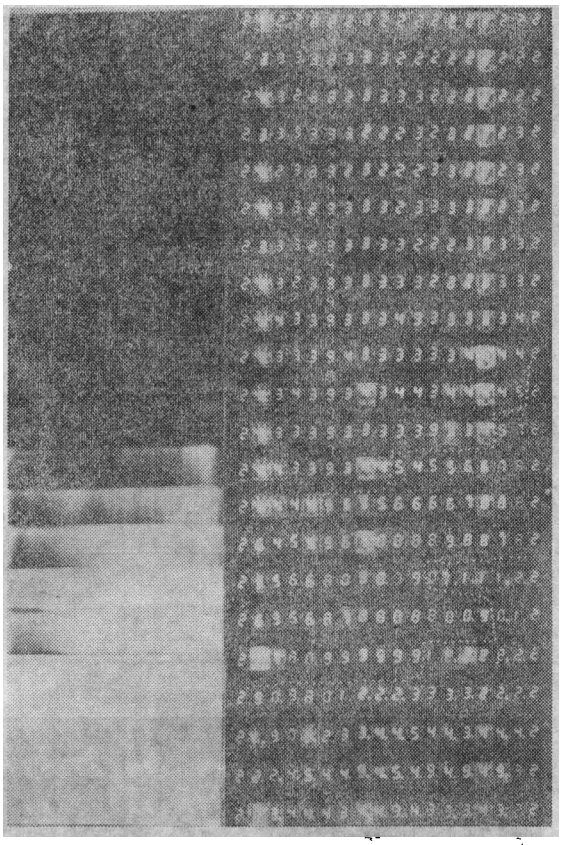

图 8　砂质海岸微波图像
位于胶南县冯家江口北侧，1979 年 9 月 17 日拍摄

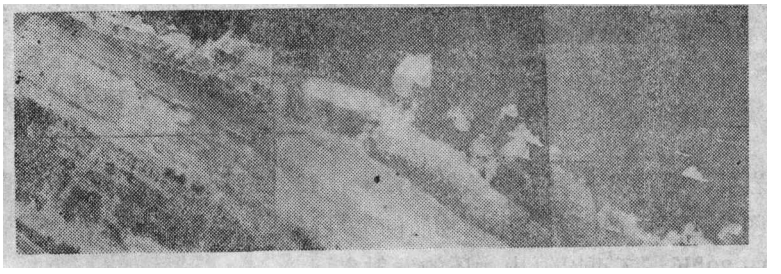

图 9　与图 8 同步拍摄的可见光照片

表1 土壤微波发射率与含水量关系[4]

地 物	深度(h)及含水量(W)%	波长 cm	气温 °C	辐射率(ε)
土 壤	$W_{h=20cm}=6.4\%$	3.2	21	0.947
	$W_{h=20cm}=19\%$	3.2	20	0.919
	$W_{表面}=21\%$	3.2	23	0.923
	$W_{h=20cm}=20.1\%$	3.2	22.5	0.668
	$W_{表面}=34.6\%$	3.2	22.5	0.668
	$W_{h=20cm}=17.5\%$	3.2	22.5	0.668

表2 干、湿沙堤的微波发射率

被测地物	波长(cm)	气温(°C)	地物发射率ε
干沙堤	3	22.1	0.644
湿沙堤	3	22.1	0.539

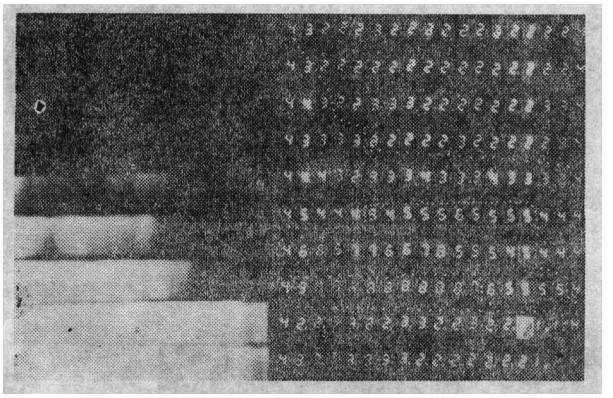

图10 基岩海岸微波图像
1979年9月17日下午拍摄

2．基岩海岸

图10是一段基岩海岸的灰阶和数字图像（地理位置在胶南县黑涧村附近）.

在灰阶图像上除看出水陆边界外，色调介于白色（陆地）和黑色（水体）之间部分是出露水面的基岩．在数字图像中，可分为下列几部分：数码2为海水，3、4码为含沙量较高、并在水面复盖有泡沫的海水；6、7码为露出水面的基岩，其上水份较多．所以辐射温度较岸上表面干燥的基岩低；数码8一行为窄条砾石沙滩；12、13码以上是海蚀崖壁、植被等．同时，由数字图像还可以得出各种不同物质的亮度温度差，如出露水面的基岩较砾石滩的亮度温度低10—20°K，还可以算出物质的发射率．

3．淤泥质海岸

图11为胶南县薛家岛一段淤泥质海岸的微波图像.

在灰阶图像中岸线的几何形状可大体勾划出来．数字图像记录了此段海岸几条不同亮度温度区域是：2、3、4码为海水，其中3、4码为含沙量大的混浊海水．数码5、6、7为淤泥质潮间带，淤泥细沙的含水量已近于饱和．数码8、9为长有耐盐性杂草的海

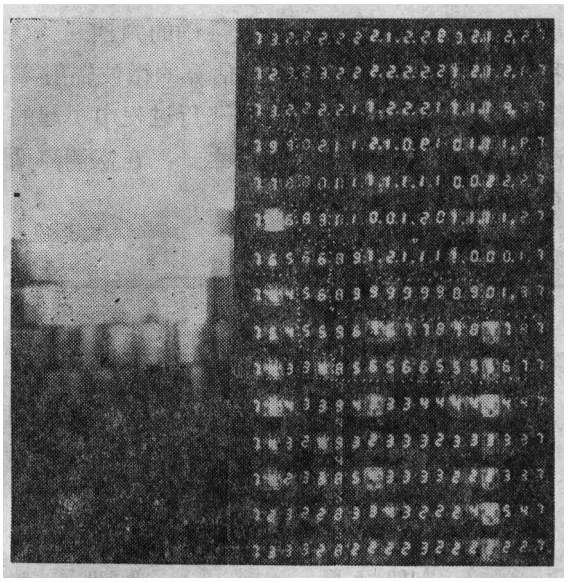

图11　淤泥海岸微波图像
1979 年 9 月 17 日下午拍摄

滩，面积不大，沿岸边分布．10、11 以上数码为被植被复盖的陆地．

利用微波数字图像可以绘出海岸带地质地貌的微波辐射温度图．图12 即是一段淤泥质海岸（位于胶南县积米崖港附近），同时又是一河口入海处（时令河）的微波辐射温度图．图 13 是与之对应的可见光照片．

上述几种类型海岸的微波图像，只是概观地描绘了海岸的地质地貌特征．由于微波辐射计的空间分辨力低，对于海岸的微地貌形态是难以描述的，而且灰阶和数字图像记录的只是物质的微波辐射温度，加之海岸地带类型复杂，加上潮汐作用，变化迅速．所以对于每种微波遥感资料的具

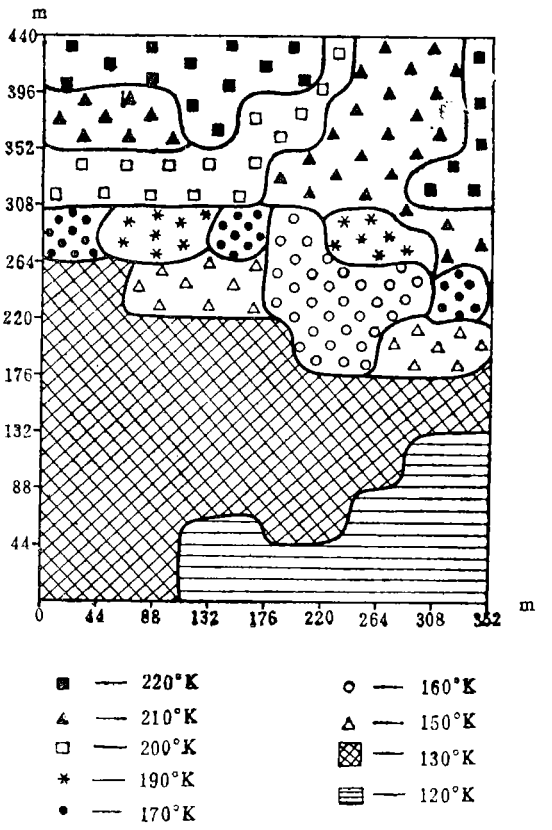

图12　淤泥海岸（也是河口入海处）辐射温度图

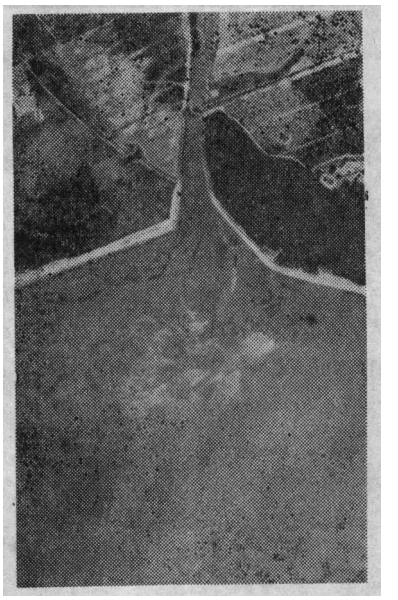

图13　与图 12 同步拍摄的可见光照片

体分析，必须尽量与各已知因素结合起来加以对比，这样才能作出较准确的判读.

表3给出的是根据本次实验测得的几种物质的亮度温度值 T_b 及估算的微波辐射率 ε.

上面几例微波图像的分析解译中，把海面视为无浪海面. 对飞机飞行过程中引起的测量误差也未加考虑. 实践证明，微波辐射计作为重要的海洋遥感手段之一，在监测海面石油污染和海岸带调查中的应用是有效的、有价值的.

表3 几种物质的辐射温度与微波发射率

被测地物	微波图像数码	亮温度 T_b	地物辐射率 ε
海 水	2	120±5°K	0.404
海 水（污染）	3	130±5°K	0.438
油膜复盖海水	4	140±5°K	0.472
石油油膜（胜利原油）	5	150±5°K	0.505
重柴油（国产）	6	160±5°K	0.539
干 沙 堤	9	190±5°K	0.633
湿 沙 堤	6	160±5°K	0.533
基 岩（岸边）	7	170±5°K	0.567
砾石滩堤	8	180±5°K	0.600
淤 泥 质	7	170±5°K	0.567
植 被	14	240±5°K	0.800
裸露岩石（山）	17	270±5°K	0.900

参 考 文 献

[1] 汤定元、陈宁镛等译，遥感手册（第一分册），国防工业出版社，1979.

[2] Barrett, E.C. and Curtis, L.F., *Introduction to Environmental Remote Sensing*, 1976.

[3] Hollinger, J.P., *Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 3 (1974), 1761.

[4] Kondratyev, K.Y., Melentyev, V.V. *et al.*, *Proceedings of the Eleventh International Symposium on Remote Sensig of Environment*. 2 (1977), 1641—1652.

PRELIMINARY APPLICATION OF 3CM SCAN-IMAGING MICROWAVE RADIOMETER TO REMOTE SENSING OCEANOGRAPHY

Sun Yuanfu and Zheng Quanan

(First Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography, Qingdao)

ABSTRACT

The microwave data obtained from the experiment of remote sensing oceanography in 1979 are analysed and expounded in this paper. The subjects include marine oil pollution, coastal geology and geomorphology, and observation results of the microwave emissivity on some terrain in site. The experiments show that the instrument performance is higher and the data obtained are valuable to the study of oceanography.