

琼州海峡幅卫片的多光谱解译*

任明达
(北京大学)

我国自从七十年代引入美国大地卫星多光谱象片(以下简称卫片)以来,鉴于解译方法大多局限于目视判读的定性分析,因而大大限制了卫片信息的提取与应用效果。目前,国内遥感信息的电子计算机自动处理技术,尚未普遍开展。能否在现有设备条件下,将解译工作定量化,使解译精度有所提高呢?这是本文以琼州海峡幅卫片为例探讨的第一个课题。此外,卫片为海岸动态的研究提供了有力的手段,已引起重视。但是,近岸海域的影象特征到底是哪些海洋要素的反映,尚有不少疑处。这是本文拟阐述的第二个课题。

1980年,作者在雷州半岛南部和海南岛北部地区进行了实地考察,对卫片解译成果作了验证。本文就卫片解译中用到的一些方法和取得的部分成果作概略介绍,希望对海岸带卫片解译工作的开展有所裨益。

一、多光谱象片解译的依据

地表的物体对太阳光具有吸收和反射的能力。物体表面的反射出射率与入射到该表面的辐照度之比叫做反射率。物体的反射率随波长而变化的规律叫做地物反射光谱。不同的地表物体具有不同的反射光谱。因此,反射光谱的特性是可见光遥感方法识别地表物体的主要依据。

美国大地卫星上的多光谱扫描仪(MSS)接收地表物体0.5—1.1微米波长的反射光,并将其分解成四个波段记录下来,即0.5—0.6微米的蓝绿光(MSS4)、0.6—0.7微米的黄橙光(MSS5)、0.7—0.8微米的红光与近红外光(MSS6)以及0.8—1.1微米的近红外光(MSS7)。这就相当于我们常用的四种波段的卫片。

卫片是由最基本的影象单元——象元组成的。每张卫片约有 5.3×10^6 个象元,每个象元代表地面 79×57 平方米的范围。多光谱扫描使每个象元具有四种不同波段的反射率值。多光谱象片的目视解译利用的是象元集合体的反射影象,而用磁带记录的多光谱信息的电子计算机自动识别技术利用的是单个象元的反射率值。

我们据以解译的只是多光谱象片,要从卫片中重新提取每个象元的反射率值,显然是困难的。为了大体上控制琼州海峡幅卫片反射率的分布,我们横贯海峡布置了四条剖面,每条剖面都用质量较好的、四种波段的卫片负片在《行扫描测微密度仪》上测定密度。由于负片的密度与地物的反射率成正比,故测得的剖面密度实际上反映了该剖面上地物反射率的分布。我们在四条剖面上大致等距离地取定50个点(图1),每一个点都可以读得

* 本文承王乃樑先生审阅,特此致谢。此外,参加野外工作的还有江美球、袁家义和龙晶等同志。
本刊编辑部收到稿件日期:1980年9月6日。

不同波段的四个密度值 (N_4, N_5, N_6, N_7 , 见表 1)。若将这些点值绘制在横坐标为波长, 纵坐标为底片密度的直角坐标系上, 各点的密度曲线特征反映了相应地物的反射光谱特性。反射光谱特性相似的点对应性质相似的地物, 这条简单的地物光谱原理不仅在目视解译中被广泛利用, 也是电子计算机自动识别地物的主要依据。后者对多光谱象片进行信息提取、模数转换、统计处理和结果输出, 从而可获得密度分割、比值分析和聚类分析等图象。

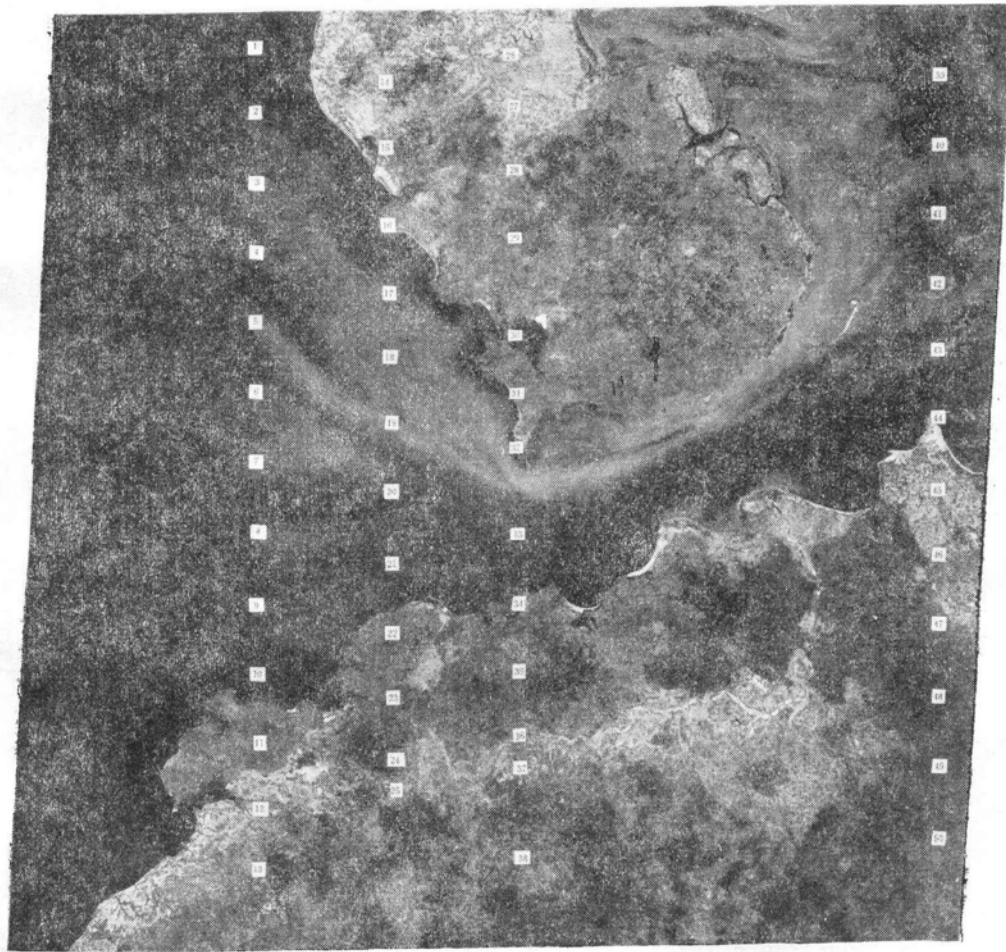


图 1 琼州海峡幅卫片 (MSS5) 及负片密度采样点号

二、密度资料的聚类分析和比值分析

国外目前采用的自动识别技术之一是根据象元的光谱值, 用聚类分析法对所有象元进行分类。然后将每类象元的光谱特性与已知的地物进行对比, 从而判断各类象元所代表的地物。上述运算需要有大型的电子计算机。我们试用聚类分析法, 将上述 50 个样点的密度数据用袖珍计算机运算, 取得了较好的结果。

由于取定的 50 个点 (即样品), 每个点都有四个密度值 (即变量), 所以可将这些样品设

表1 样点密度值(N)与比值表

| 样号 | N ₄ | N ₅ | N ₆ | N ₇ | $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$ | $\frac{N_5 - N_4}{\Sigma N^*}$ | 样号 | N ₄ | N ₅ | N ₆ | N ₇ | $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$ | $\frac{N_5 - N_4}{\Sigma N}$ |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | | | $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$ | $\frac{N_5 - N_4}{\Sigma N}$ | | | | | | | |
| 1 | 6.2 | 2.3 | 1.3 | 0.9 | -75 | -36 | 26 | 7.5 | 7.0 | 9.0 | 9.0 | 9 | -2 |
| 2 | 6.1 | 2.4 | 1.5 | 1.1 | -69 | -33 | 27 | 7.4 | 8.0 | 9.0 | 9.3 | 11 | 2 |
| 3 | 6.7 | 3.3 | 1.6 | 1.0 | -74 | -27 | 28 | 6.5 | 7.0 | 7.0 | 7.4 | 6 | 2 |
| 4 | 7.2 | 2.9 | 1.6 | 1.0 | -76 | -34 | 29 | 7.0 | 5.0 | 7.7 | 7.9 | 6 | -7 |
| 5 | 7.4 | 4.5 | 1.9 | 1.2 | -72 | -19 | 30 | 6.5 | 2.3 | 1.6 | 1.3 | -67 | -36 |
| 6 | 7.0 | 3.1 | 1.6 | 1.1 | -73 | -30 | 31 | 6.5 | 6.0 | 7.2 | 8.2 | 12 | -2 |
| 7 | 7.3 | 3.9 | 1.8 | 1.1 | -74 | -24 | 32 | 9.1 | 9.0 | 9.1 | 9.7 | 3 | -0.3 |
| 8 | 7.1 | 3.6 | 1.8 | 1.1 | -73 | -26 | 33 | 7.0 | 3.3 | 1.7 | 1.3 | -69 | -28 |
| 9 | 7.1 | 3.6 | 1.9 | 1.1 | -73 | -26 | 34 | 6.5 | 2.5 | 1.6 | 1.3 | -67 | -34 |
| 10 | 6.6 | 2.6 | 1.7 | 1.1 | -71 | -33 | 35 | 6.0 | 5.0 | 7.3 | 8.5 | 17 | -4 |
| 11 | 6.3 | 5.7 | 7.5 | 8.0 | 12 | -3 | 36 | 6.5 | 6.0 | 8.0 | 8.8 | 15 | -2 |
| 12 | 7.4 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 15 | 2 | 37 | 8.4 | 9.4 | 8.8 | 9.6 | 7 | 3 |
| 13 | 6.7 | 5.1 | 7.5 | 8.5 | 12 | -6 | 38 | 6.5 | 5.8 | 8.5 | 8.6 | 14 | -2 |
| 14 | 7.5 | 7.7 | 8.9 | 9.5 | 12 | 0.6 | 39 | 6.5 | 3.2 | 1.3 | 1.0 | -73 | -28 |
| 15 | 6.3 | 6.8 | 9.0 | 9.2 | 19 | 2 | 40 | 6.3 | 3.8 | 1.5 | 1.0 | -73 | -20 |
| 16 | 6.5 | 6.2 | 7.2 | 7.9 | 10 | -1 | 41 | 6.3 | 3.6 | 1.5 | 1.0 | -73 | -22 |
| 17 | 7.5 | 5.1 | 2.2 | 1.4 | -69 | -15 | 42 | 6.4 | 4.0 | 1.7 | 0.9 | -75 | -18 |
| 18 | 7.7 | 5.6 | 2.3 | 1.4 | -69 | -12 | 43 | 7.0 | 4.1 | 1.5 | 0.9 | -77 | -21 |
| 19 | 7.8 | 5.7 | 2.4 | 1.5 | -68 | -12 | 44 | 10.0 | 11.9 | 11.3 | 10.8 | 4 | 4 |
| 20 | 7.4 | 4.0 | 1.8 | 1.3 | -70 | -23 | 45 | 7.7 | 7.2 | 8.7 | 8.8 | 7 | -2 |
| 21 | 7.7 | 3.8 | 1.9 | 1.3 | -71 | -27 | 46 | 7.1 | 7.1 | 7.8 | 8.1 | 7 | 0 |
| 22 | 6.3 | 5.2 | 8.2 | 8.7 | 16 | -4 | 47 | 5.4 | 4.7 | 6.7 | 7.2 | 14 | -3 |
| 23 | 6.3 | 4.8 | 7.8 | 8.4 | 14 | -5 | 48 | 5.1 | 4.0 | 6.6 | 7.3 | 18 | -5 |
| 24 | 6.6 | 4.8 | 7.7 | 8.8 | 14 | -6 | 49 | 5.3 | 4.1 | 6.7 | 7.3 | 16 | -5 |
| 25 | 8.0 | 7.0 | 8.4 | 9.5 | 9 | -3 | 50 | 5.2 | 4.7 | 6.7 | 7.2 | 16 | -2 |

* $\Sigma N = N_4 + N_5 + N_6 + N_7$

想为分布在四维数学空间中的50个点。相距较近的点，其密度曲线(即光谱性质)较相似。因此，点间的“距离”是衡量样品之间的关系是否密切的尺度，可用下式计算：

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (X_{ii} - X_{ji})^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, 50)$$

可见，“距离” D 愈大，样品间的关系愈疏远； D 值愈小，样品关系愈密切； $D = 0$ ，样品的光谱特性完全一样。用上式计算每两个样品之间的“距离”，列出“距离” D 矩阵(表2)。

为“距离” D 确定一个适当的归类标准 λ 。规定 $D < \lambda$ ，样品关系密切，可以归入一类； $D > \lambda$ ，样品关系不密切，不能归入一类¹⁾。在对50个样品进行第一轮分类中，我们选用 $\lambda_1 = 1.500$ 为间距。结果分成十一类，每一类的平均密度曲线示于图2。其中A、B、C类分别为较清、较浑和很浑的海水，其反射率以四波段最高；随着波长增大，反射率迅速降低；近红外光几乎全部被海水吸收，反射率最低。D—F是三种不同性质的玄武岩，其密度曲线与海水正好相反，反射率由短波向长波逐渐增高。但是雷州半岛—海南岛

1) λ 分类的具体步骤可见各种数学地质书。

表 2 距离 D 矩阵表

| D | 1 | 2 | 3 | 4 | | 48 | 49 | 50 |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0 | 0.316 | 1.162 | 1.187 | | 8.553 | 8.612 | 8.695 |
| 2 | | 0 | 1.091 | 1.217 | | 8.247 | 8.307 | 8.387 |
| 3 | | | 0 | 0.640 | | 8.230 | 8.264 | 8.286 |
| 4 | | | | 0 | | 8.385 | 8.411 | 8.467 |
| | | | | | | | | |
| 48 | | | | | | 0 | 0.245 | 0.721 |
| 49 | | | | | | | 0 | 0.616 |
| 50 | | | | | | | | 0 |

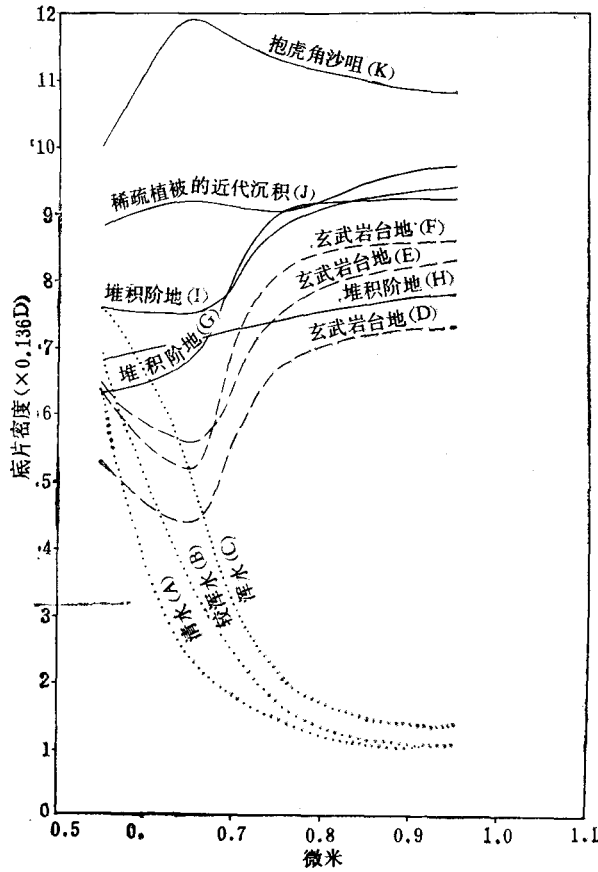


图 2 各类地物的密度曲线

地区玄武岩的反射率,四波段又略高于五波段,这是由于玄武岩台地上植被覆盖度较高所致。G—I 是已开垦的第四纪堆积阶地和平原,其反射率普遍高于玄武岩,这是因为松散沉积中石英等浅色矿物比较富集。J—K 是沿岸沙咀、沙堤和河床的现代沉积,其反射率最高。

通过第一轮归类,将归入一类的样品的变量取平均,得 11 个新样品的平均变量。根

据这些平均变量,将 11 个新样品进行第二轮分类,归类标准采用 $\lambda_2 = 3.000$ 为间距。结果分成六类,海域与玄武岩各为一类 (A' 和 D')。用同样的方法进行第三轮 ($\lambda_3 = 4.000$ 为间距)和第四轮 ($\lambda_4 = 6.000$ 为间距)分类,最后将样品分成海域和陆地两大类(图 3)。

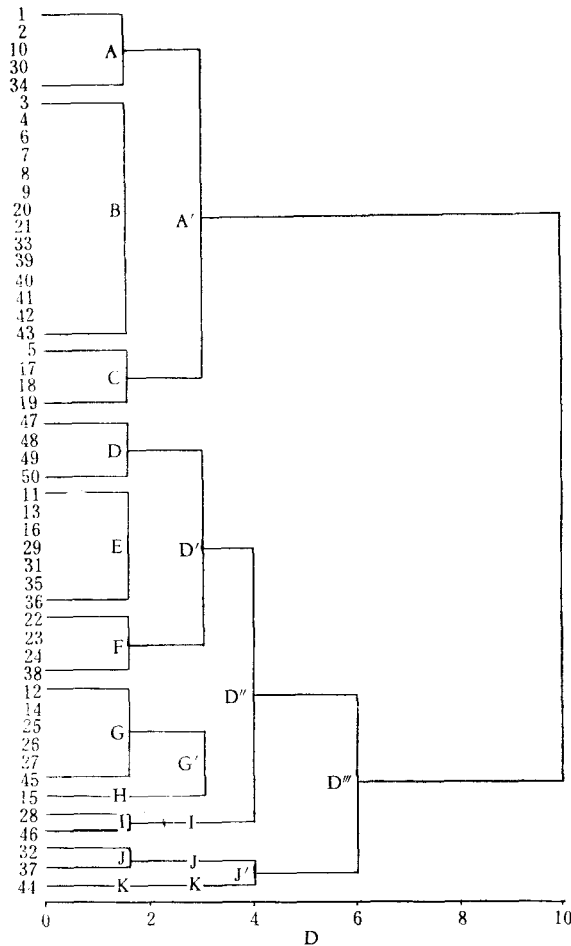


图 3 密度样点分类谱系

上述聚类分析的结果与野外见到的实际情况基本一致,个别点例外。

另一种识别技术是比值分析。它通过简单的比值运算来人为地扩大不同地物间的光谱差异性,从而突出所需调查的目标。比值公式的选择取决于地物光谱特性的分析。如根据图 2 的密度曲线类型, $(N_7 - N_4)$ 和 $(N_7 + N_4)$ 是区分海域和陆地的有用参数。两种密度的差,海域为负值,陆地为正值;两种密度的和,海域的数值小于陆地的数值。若采用比值 $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$, 可将海域和陆地明显区别开来。另外, $(N_5 - N_4)$ 对玄武岩和海域为负值,松散沉积为正值;玄武岩和海域的四种密度和 (ΣN) 小于松散沉积。故用比值 $\frac{N_5 - N_4}{\Sigma N}$ 可区分玄武岩、海域和松散沉积。图 4 是上述 50 个点样在以比值 $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$ 和

$\frac{N_5 - N_4}{\Sigma N}$ 为纵、横坐标的二维空间中的分布。显然, 比值 $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$ 用来区别海陆是成功的, 但无法区分玄武岩和松散沉积。可见, 不同的比值往往只能突出个别的地物, 比值的选取决定于所研究的地物光谱特性的差异。

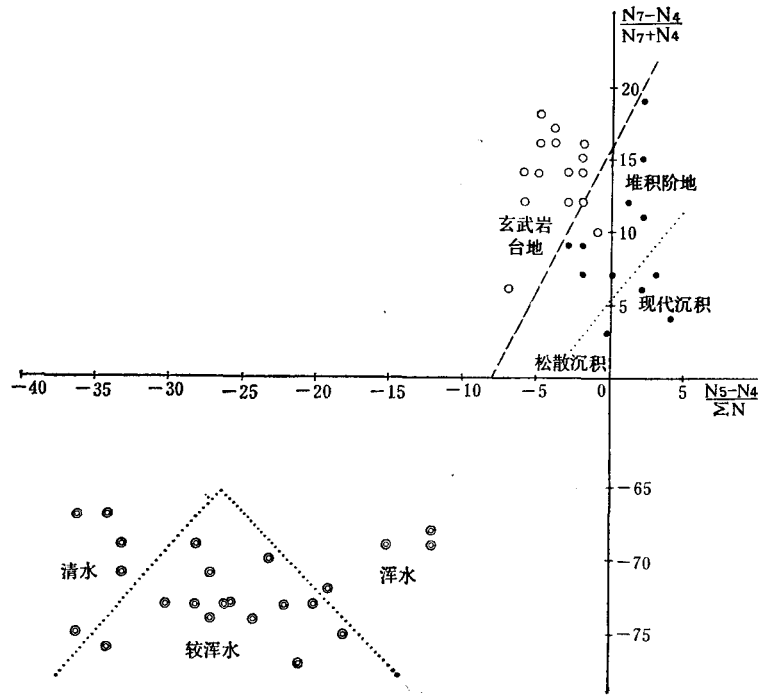


图 4 多光谱象片密度比值相关图

三、多光谱象片的水深解译

琼州海峡幅卫片被一些人作为多光谱象片可以探测几十米水深的典型例子。这是因为从样子上看, 卫片色调的分布与海底地形很相似: 海峡西口发育潮流三角洲, 三角洲上的水道由东向西呈辐射状分布; 在卫片上, 深色调与浅色调也呈辐射状相间分布。海峡东口的海底地形比较复杂; 卫片色调的分布也较乱。海峡中的水深最大; 卫片的色调也最深。

但是, 我们注意一下 1973 年 12 月 27 日拍摄的五波段卫片 (见图 1), 会发现一个矛盾的现象: 雷州半岛和海南岛西部沿岸水域的卫片色调比外海的深, 而实际上这里是水深不到 5 米的浅滩。这就使我们怀疑海域的卫片色调是否是海底地形的直接反映, 卫片影象是否是卫星接收海底反射光而成。为此, 我们用横贯海峡西口的潮流三角洲的三个断面的五波段底片密度测量值 (N_5) 与 1971 年出版的海图上的相应水深值 (H) 进行线性回归分析 (表 3), 得到的回归方程为

$$N_5 = 3.87 + 0.0064 H$$

拟合度检验所得的相关系数 $r = 7.8\%$ 。单就本研究区域来说, 由图 5 可见, 从量值上, 底

表3 西部海域样点五波段密度值 (N_5) 与水深 (H) 表

| $X(H)$ | $Y(N_5)$ | X^2 | XY | Y^2 |
|--------|----------|-------|--------|--------|
| 10 | 2.6 | 100 | 26.0 | 6.76 |
| 13 | 2.4 | 169 | 31.2 | 5.76 |
| 15 | 3.5 | 225 | 52.5 | 12.25 |
| 18 | 3.3 | 324 | 59.4 | 10.89 |
| 20 | 3.7 | 400 | 74.0 | 13.69 |
| 15 | 2.9 | 225 | 43.5 | 8.41 |
| 14 | 3.7 | 196 | 51.8 | 13.69 |
| 16 | 4.5 | 256 | 72.0 | 20.25 |
| 22 | 4.0 | 484 | 88.0 | 16.00 |
| 17 | 3.1 | 289 | 52.7 | 9.61 |
| 14 | 4.2 | 196 | 58.8 | 17.64 |
| 15 | 3.9 | 225 | 58.5 | 15.21 |
| 22 | 3.5 | 484 | 77.0 | 12.25 |
| 18 | 3.6 | 324 | 64.8 | 12.96 |
| 13 | 3.0 | 169 | 39.0 | 9.00 |
| 26 | 3.6 | 676 | 93.6 | 12.96 |
| 22 | 3.7 | 484 | 81.4 | 13.69 |
| 10 | 5.1 | 100 | 51.0 | 26.01 |
| 13 | 5.5 | 169 | 71.5 | 30.25 |
| 17 | 5.6 | 289 | 95.2 | 31.36 |
| 19 | 5.4 | 361 | 102.6 | 29.16 |
| 17 | 5.7 | 289 | 96.9 | 32.49 |
| 27 | 4.8 | 729 | 129.6 | 23.04 |
| 23 | 4.0 | 529 | 92.0 | 16.00 |
| 33 | 3.6 | 1089 | 118.8 | 12.96 |
| 39 | 3.8 | 1521 | 148.2 | 14.44 |
| 50 | 6.5 | 2500 | 325.0 | 42.25 |
| 65 | 3.3 | 4225 | 214.5 | 10.89 |
| 32 | 3.8 | 1024 | 121.6 | 14.44 |
| 635 | 116.3 | 18051 | 2573.1 | 494.31 |

$$l_{xx} = \Sigma x^2 - \frac{1}{n} (\Sigma x)^2$$

$$= 18051 - \frac{1}{29} (635)^2 = 4146.69$$

$$l_{yy} = \Sigma y^2 - \frac{1}{n} (\Sigma y)^2$$

$$= 494.31 - \frac{1}{29} (116.3)^2 = 27.91$$

$$l_{xy} = \Sigma xy - \frac{1}{n} (\Sigma x)(\Sigma y)$$

$$= 2573.1 - \frac{1}{29} (635)(116.3) = 26.53$$

$$b = l_{xy}/l_{xx}$$

$$= 26.53/4146.69 = 0.0064$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$= 4.01 - 0.14 = 3.87$$

一元线性回归方程为:

$$y = 3.87 + 0.0064x$$

拟合度检验:

$$r = \sqrt{\frac{l_{xy}}{l_{xx}l_{yy}}}$$

$$= \sqrt{\frac{26.53}{4146.96 \times 27.91}} = 7.8\%$$

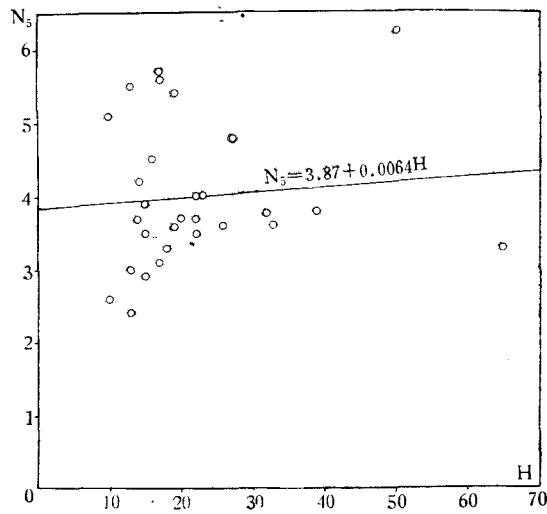


图5 五波段象片密度与水深散点图

片密度值与水深值之间的相关性极差,而且两者呈正相关,即底片密度大(卫片色调浅),水深大,这与人们预期的结果正相反。因此我们认为海域的卫片色调不是海底地形的直接反映,而主要反映了海水中悬浮泥沙的分布。但是由于该浅海域的水深与含沙量之间存在着一定关系,故海底地形通过对含沙量的影响间接地反映在卫片色调中。这将在下一节中阐述。

四、多光谱象片的泥沙流解译

海水含沙量与底片密度成正比,这已被国内外的许多试验所证明。据日本资料:

| 相关系数 r | 紫蓝光 (0.4—0.5 微米) | 蓝绿光 (0.5—0.6 微米) | 黄橙光 (0.6—0.7 微米) |
|----------|------------------|------------------|------------------|
| 含沙量 | 1.5% | 56.2% | 60.7% |

含沙量与黄橙光的相关性最好,因此在五波段卫片上泥沙流表现得最清楚。例如图 1 的雷州半岛东岸,浑浊的海水直逼岸边,沿岸泥沙流明显;半岛西岸水清,无明显的泥沙流。这种情况与当时的海洋水文气象条件是一致的。卫片拍摄那天,雷州半岛东面的确洲岛台站记录的风向为 NEE, 风速 9 米/秒;半岛西面的濠洲岛台站记录的风向为 NE, 风速 4 米/秒。这种风况对雷州半岛东岸来说正好是向岸风,风浪强烈扰动近岸海底的泥沙,整个海岸带水体浑浊。对半岛西岸而言,正好是离岸风,近岸带浪平水清,在卫片上表现为明显的深色调带。向外海,随着风的吹程加大,波浪作用增强,海底浅滩的泥沙被搅起,浑浊海水的反射光增强,卫片上出现浅色调。

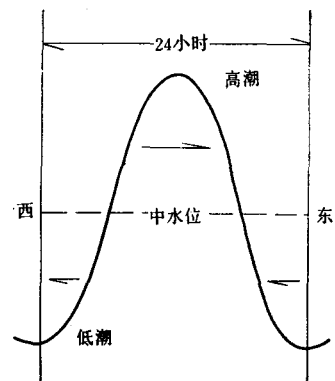


图 6 琼州海峡潮汐过程线及潮流流向

海峡两岸泥沙流的格局主要由潮流造成的。琼州海峡系不正规日潮,大体在涨-落潮中水位以上为向东水流;涨-落潮中水位以下为向西水流(图 6)。该卫片的拍摄时间为 10 点 33 分,那天的高潮潮时为 9 点。因此,卫星过境时,海峡中正值向东水流。海峡西端潮流三角洲浅滩上的泥沙被波浪搅起后,由潮流带向海峡。它们绕过雷州半岛最南端的灯楼角,在海峡北岸形成一股宽度达 10 公里的泥沙流。在五波段象片上(见图 1)还可见到潮流越过灯楼角后在落尾湾沿岸形成一股回移的泥沙流。

海峡南岸的泥沙流不如北岸明显,这可能是作为海峡浑浊水主要来源的西口潮流三角洲(对卫片拍摄时而言)从整体而言南部水深大,北部水深小,南岸泥沙来源较缺乏的缘故。在海峡南岸的南渡江口三角洲和澄迈角沙咀的外侧有两股向东扩散的帚状泥沙流(图 7)。从卫片上看,其西部并无充足的泥沙来源。这种局部的泥沙流无疑是由于南渡江三角洲和澄迈角的突出堆积体的外侧存在浅滩,浅滩上的泥沙被东来的风浪搅起后,由向东的潮流迁移而成。

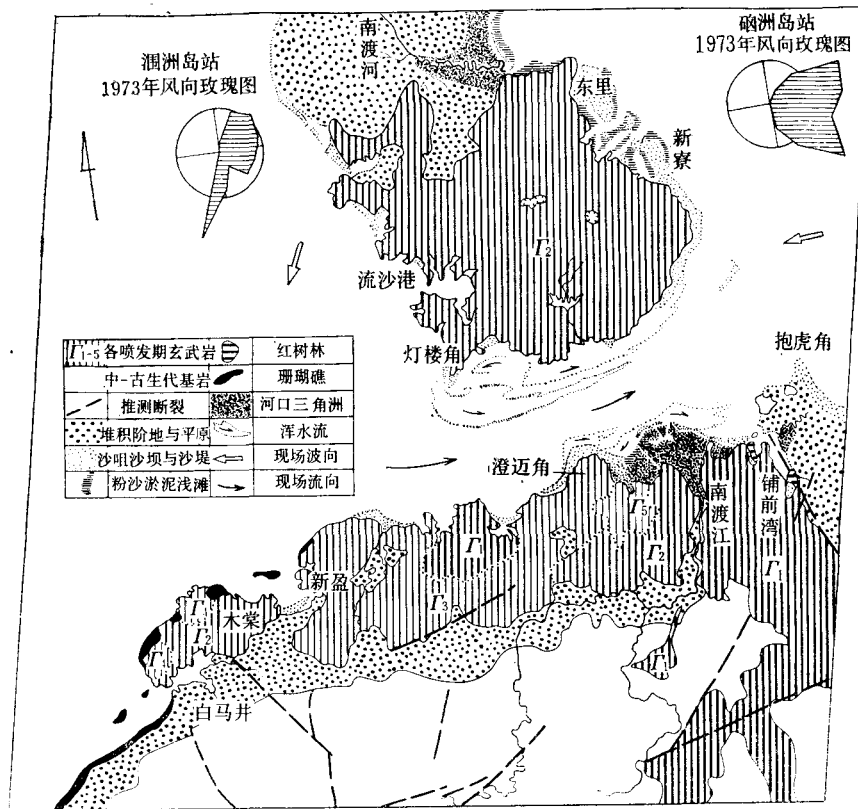


图7 琼州海峡幅多光谱象片(1973.12.27)解译图

由以上分析可以看到,海域的卫片色调是海水含沙量的直接反映。用五波段卫片底片的密度值可以满意地判断海水含沙量的相对分布。图8是根据五波段底片密度值绘制的海峡西海域等值线图,它勾划了现场含沙量的分布,可惜没有同步实测资料佐证。若采用蓝绿光与黄橙光密度的比值来绘制等值线,就能更接近含沙量分布的实际情况。因为清水的后向散射光主要是由水分子散射的波长较小的蓝绿光,而浑浊水的后向散射光主要是由悬浮的固体质点散射的波长较大的黄橙光。因此,采用蓝绿光与黄橙光的底片密度比值可以扩大含沙量引起的数值变动范围,从而提高对含沙量的分辨能力。例如上述聚类分析将海域的样品分成较清、较浑和很浑的三类。若单用五波段的密度值来区分,各类间的倍差数分别为1.08, 1.10和1.19。若用四、五波段密度的比值来区分,其类间的倍差数增为1.39, 1.82和1.31(表4)。

为什么琼州海峡幅卫片的色调分布与海底地形的格局粗略看来那么相似?这主要是造成卫片色调差异的海水含沙量的分布与海底地形之间存在着动力学上的联系。比如在同样强度的波浪作用下,浅滩区海水的含沙量大,深水区的含沙量小。在深槽与浅滩相间分布的潮流三角洲上,波浪对海底泥沙的扰动强度不一样,造成海域的清、浑水带交替出现。此外,潮流和海流使波浪搅起的泥沙发生迁移,从而造成浑水带与浅滩位置的“错动”,改变含沙量与水深的固有从属关系。这就是琼州海峡的卫片色调与海底地形外观相似,而量值上不相关的原因。在目前的技术条件下,卫片底片密度只能用作海底地形的定性分

析,而难以作出定量的结论。

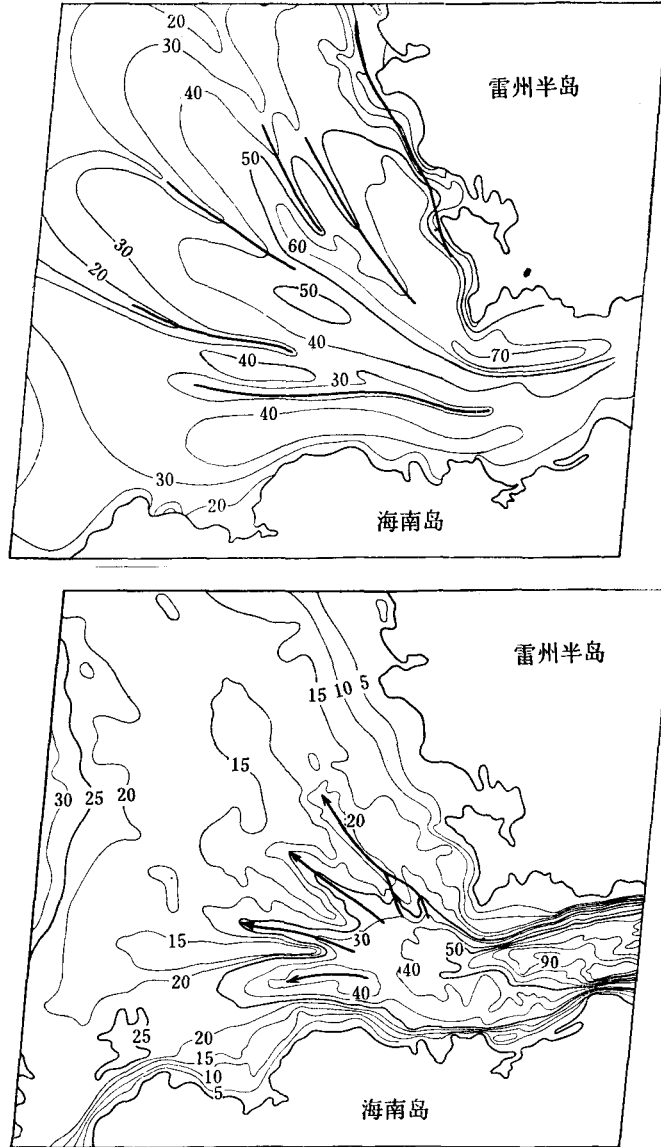


图 8 琼州海峡西海域五波段影像密度等值线图(上)与等深线图(下)
(上图粗线条为卫片深色调带; 下图粗线条为海底深槽位置)

表 4 不同浑浊度海水的底片密度与比值

| 类 别 | 较 清 水 | 较 浑 水 | 很 浑 水 | 类间倍差 | 较清—较浑水 | 较清—很浑水 | 较浑—很浑水 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 黄橙光密度 | 6.4 | 6.9 | 7.6 | 黄 橙 光 | 1.08 | 1.19 | 1.10 |
| 蓝绿/黄橙密度比值 | 2.67 | 1.92 | 1.46 | 蓝绿/黄橙 | 1.39 | 1.82 | 1.31 |

五、多光谱象片的陆地解译

珊瑚礁 这幅卫片中的珊瑚礁在海南岛的西北岸最发育。珊瑚礁通常由浅水的礁坪和礁坪前缘深水的珊瑚林带构成。卫片拍摄时,礁坪尚淹于水下。用肉眼观测,珊瑚礁在六、七波段象片上没有显示,在五波段上呈深灰色,四波段呈浅灰色。水下礁坪的密度测量值分别为:

| MSS 4 | MSS 5 | MSS 6 | MSS 7 |
|-------|-------|-------|-------|
| 7.1 | 4.2 | 1.5 | 1.0 |

它的光谱特征与较清水比较相似,所不同者,水下礁坪的四、五波段的密度值比清水的高。这归因于珊瑚的生态条件。珊瑚礁发育在清澈的浅水域,红光和近红外光被水体强烈吸收,蓝绿光和黄橙光则能部分地穿过浅层清水到达礁坪,从礁坪面返回的海底反射光使四、五波段的底片密度值增高。

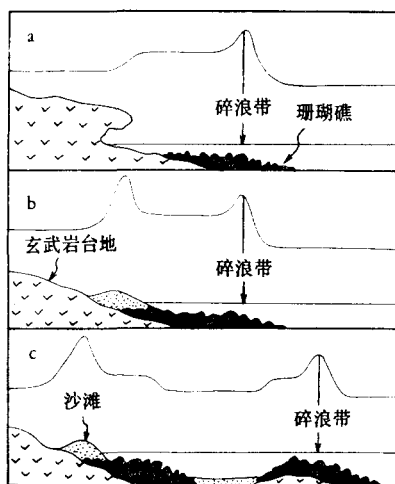


图9 珊瑚礁类型及底片密度示意曲线

a, b——裙礁; c——岛礁与裙礁

卫片上的珊瑚礁有一个重要的影象特征:在珊瑚礁的靠海侧有一条亮线,亮线外面是深色调区,里侧是浅色调区。这种亮线是外海传来的波浪在礁坪边缘破碎的浪花带强烈反射形成的,外侧是较清的深水,里侧是浅水的礁坪。若浅色调的礁坪直接与沙滩或玄武岩海蚀崖相依(图9a, b),属于裙礁(或岸礁)类型,见于白马井至木棠一带。若珊瑚礁与陆地之间有深色调的开阔水域,则属岛礁类型(图9c),如白马井的大铲岛和新盈的邻昌岛。

粉沙淤泥质潮间浅滩 其密度曲线与浑水的有些相似,只是六、七波段的密度较浑水大,故整个曲线比较平缓。粉沙淤泥质潮间浅滩在由四、五、七波段合成的假彩色象片上呈蓝绿色,它们分布在隐蔽的基岩港湾内或沿岸沙质堆积体的波影区,后者如雷州半岛东岸的东里、新寮沙岛和海南岛南渡江三角洲西侧。落潮时,浅滩露出海面。在五、六、七波段象片上可以清楚地看到灰色调的浅滩上有呈黑线条的潮水河沟通过;在四波段象片上,浅滩与潮水沟都呈浅灰色,很难辨别。在卫片上分析潮水河沟系统是了解潮间浅滩动态的有益根据。

红树林 红树是分布在热带沿海的灌乔木,它具有渗透压高,支持根和呼吸根发育,以及种子在母树上直接萌发的胎生特点,故红树能繁殖在隐蔽港湾内的粉沙淤泥质潮间浅滩上,周期性地被淹,形成独特的红树林海岸。

红树具有绿色植物共有的光谱特性:对蓝绿光和黄红光的吸收强,故在四、五波段象片上呈深灰色;对红外光的反射强,故在六、七波段象片上呈浅灰色(图10)。那么如何区



图 10 海南岛铺前湾的红树林

a——MSS 4 b——MSS 7 c——解译图(箭头所指为红树林)

别红树林和海岸带的其它植被呢?这要综合分析红树林生态环境的影象组合特征。红树林繁殖在河口或浅海湾的潮间浅滩上,与浅水域相接。因此在四波段象片上,深色调的红树林与浅色调的浅水域相邻;在七波段象片上则相反,浅色调的红树林与深色调的浅水域相邻。用四、七波段影象特征的对比,很容易辨别红树林。此外,红树繁殖的粉砂淤泥质潮间浅滩上也多发育潮水河沟,红树林分布在潮水沟两侧的浅滩上。这种地貌现象在象片上形成一种重要的影象特征:在四波段上,红树林构成的深背景色调上有浅色调线通过;七波段则相反。

沙咀与沙堤 以石英等浅色矿物为主的砂质堆积体在干燥和无植被覆盖状态下,强烈反射可见光。如海南岛最北端的抱虎角沙嘴的底片密度分别为:

| MSS 4 | MSS 5 | MSS 6 | MSS 7 |
|-------|-------|-------|-------|
| 10.0 | 11.9 | 11.3 | 10.8 |

大于卫片中的任何其它地物。四个波段中,以黄橙光的密度最大,反射最强;蓝绿光和红外光的反射较弱。

在卫片上解译沙咀和沙堤宜采用五、七波段。五波段可以追索堆积体的陆界。如海南岛文昌县的昌洒沿岸沙堤达七条之多。为了防止风沙移动,老沙堤上都已种植防护林,五波段上呈深灰色,与靠陆侧砂质平原的浅灰色界线明显。七波段则可以追索堆积体向海的界线。

河口三角洲 卫片中有两个规模较大的三角洲:雷州半岛的南渡河三角洲和海南岛的南渡江三角洲。南渡江源自花岗岩山地,途经断裂谷地,最后切过第四纪玄武岩台地入海,形成鸟咀状三角洲。三角洲由砂质组成,坡度较大,发育放射状水系,三角洲边缘有河口沙坝环绕(图 11a)。在四、五、七波段的假彩色合成片上,南渡江三角洲呈桔黄色。南渡河三角洲发源和流经新生代沉积区,在隐蔽的港湾入海,形成港湾式三角洲。组成物质为亚砂土,土壤湿度大;三角洲坡度小,水系呈曲流型(图 11b)。在假彩色合成片上,南渡河三角洲呈蓝紫色,与南渡江迥然不同。

海岸类型 多光谱象片为海岸类型的划分提供了海岸带各种特征的大量信息。综

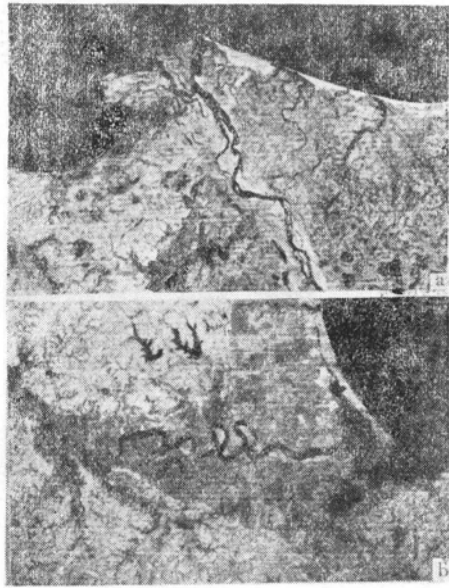


图 11 南渡江 (a) 和南渡河 (b) 三角洲的影象 (MSS 7)

观四种波段的象片,雷琼东部是堆积作用旺盛的夷平岸,西部是岸线比较稳定的港湾岸。东部和西部海岸的这种差异性与风浪作用条件有密切关系。图 7 的右上角和左上角是硃洲岛和涠洲岛水文气象站观测的 1973 年风向玫瑰图。东部海域以东向风为主,与岸线近乎垂直。风浪将海底泥沙迁至海岸堆积,形成大规模的沙堤。堤后的波影区堆积细颗粒物,形成粉砂淤泥质浅滩。西部海域以东北风和南风为主,东北风的风区短,风浪小;南风形成的波浪受海南岛阻挡,折射后进入西海域的风浪已大大减弱。故雷州半岛—海南岛西海岸的玄武岩台地岬湾曲折,侵蚀和堆积作用都不显著。有趣的是,正是在岸线比较稳定的海南岛西北岸发育珊瑚礁,而在堆积作用旺盛的东部沿岸繁殖红树林。

六、结 论

1. 用测微密度计测定多光谱象片的密度值。在一幅卫片上均匀地挑选 50 个采样点,取出每个采样点的四种波段的密度值,可以用作卫片影象的定量分析。

2. 利用袖珍计算器计算每两个样品间的“距离” $D_{ij} = \sqrt{\sum_{t=1}^4 (X_{it} - X_{jt})^2}$ (样点号 $i, j = 1, 2, \dots, 50$; 波段号 $t = 1, 2, 3, 4$), 按聚类分析法对 50 个样品进行分类,可以明显地区分海域、基岩体和松散沉积体,以及海域中的浑水、较浑水和清水,不同时期喷发的玄武岩台地,和各种类型的沉积。

3. 根据聚类分析得到的各类地物的密度曲线特性选取的比值 $\frac{N_7 - N_4}{N_7 + N_4}$ 和 $\frac{N_5 - N_4}{\Sigma N}$, 可以人为地扩大不同地物间的光谱差异性。

4. 琼州海峡西海域的影象色调主要反映了海水中悬浮质的分布,海底地形只是通过

对含沙量的影响而间接地得到轮廓反映,水深与密度值之间不存在定量相关性。

5. 综合分析地物的光谱特性和影象的组合特征,可以区别出珊瑚礁、红树林、沙咀与沙堤、河口三角洲以及淤泥质潮间浅滩等。

参 考 文 献

- [1] 北京大学地理系地貌专业遥感研究组编, 1978。地球资源卫星象片的地质解译。地质出版社, 39—67 页。
- [2] 任明达, 1980。陆地卫星象片的海岸带解译, 海洋学报 2 (4): 56—70。
- [3] 田中邦一等, 1979。水面ガ 59 分光反射特性, と水质について, 写真測量とリモートセンシング, 1, p. 2—7。
- [4] Gierloff, H. G., 1977. Orbital remote sensing of coastal and offshore environments, A manual of interpretation, Germany.

MULTISPECTRUM INTERPRETATION OF THE LANDSAT PHOTOGRAPH COVERING THE AREA OF THE QIONGZHOU STRAIT

Ren Mingda

(*Beijing University*)

ABSTRACT

The reflectance characteristic of a ground feature is the basic criterion for its discrimination on an aerospace imagery. On the Landsat photograph covering the area of the Qiongzhou Strait, along four lines running N-S, we chose 50 sample points lying at equal distance from each other. We measured with a scanning micro-densitometer the respective density of each sample point on the four negatives corresponding to Band 4, Band 5, Band 6 and Band 7 respectively. Thus we got 4 density values for each point (N_4 , N_5 , N_6 , and N_7) and plotted them against the spectral band number to form the reflectance curve of that point. As similar objects on the ground have similar reflectance characteristics, so we can use the latter as a criterion to classify the ground features at these 50 points. The procedure is first using the cluster analysis statistical method to calculate the distance between the different sample points and then group them according to the closeness of their spectral characteristics. The calculation was carried on with a simple electronic calculator. We found that these 50 sample points fell on the following types of ground features: sea water of different turbidity; platforms of lava flows extruded in different times; different terraces of accumulation; sand spits; beach ridges; river beds etc.

At the western end of the Qiongzhou Strait, a tidal delta spreads like a fan. It appears clearly on the Band 5 Landsat photo. But the regression analysis showed that there is no strict correlation between the density values and the depth values over the tidal delta. This is because the density values reflect directly the turbidity of the water, which is a function of both the intensity of the waves and the depth of water. Though the water is often turbid over the shoals where the waves touch the bottom, but during offshore winds, the nearshore zone might be free from waves so that the water remains limpid. Such was the case along the western coast of the Leizhou Peninsula when the photo we used was taken. On Band 5 photo the nearshore zone of that coast appears dark.

The spectral characteristic of submerged reef flat is similar to that of clear water. The only difference is that the density values on Band 4 and Band 5 negatives of the former are higher than those of the latter. This is the result of ecological conditions of coral reefs.

Bare silty mud tidal flat and mangrove forest tidal flat can be differentiated by comparing their tonal difference on negatives of different spectral bands.

Both the eastern coasts of the Leizhou Peninsula and the Hainan Island are straightened by heavy accumulation. There are large-scale barrier beaches with silty mud tidal flat behind them. On these tidal flats mangrove forests are growing. Along the western coasts the coastlines are more indented and more stable. Coral reefs are widespread there.