

用陆地卫星-5近红外图像 观测胶州湾海况*

平 仲 良

(青岛大学环境科学系, 青岛 266071)

提要 对海洋上空卫星测得的近红外波段辐射所反映的信息进行理论分析, 表明卫星近红外波段图像上反映的是海况信息。1986年11月5日陆地卫星TM6图像显示胶州湾海表温度的波状分布, TM2, TM3, TM4波段彩色合成图显示胶州湾的悬浮泥沙含量分布和泥沙运动。TM4图像显示在海洋波动和风力作用下的海况, 并用实测潮汐资料、气象信息解译胶州湾海况。在胶州湾中、西部, 悬浮泥沙含量较高, 而TM4波段辐射值较低, 图像阴暗, 较高的泥沙含量并没有提高TM4波段的辐射值。胶州湾东部, 悬浮泥沙含量较低, 而TM4波段辐射值较高, 图像明亮。TM4波段辐射值并不反映泥沙含量和海底深度, 它们仅提供海洋表面粗糙度或海况信息。

关键词 近红外图像 海况 胶州湾

近年来, 国外一些学者报告应用卫星近红外图像研究局部海况, 证明用近红外波段观测的反射率变化主要是海况, 他们用Cox和Munk模型(Cox et al., 1954)计算各种几何条件下海洋表面的反射系数(Wald et al., 1983), 发现这个模型适合以前观察到的情况。一些学者解译了陆地卫星MSS7图像在纽约湾东南部观察到的波状特征(Apel et al., 1975); 一些学者还报告了在小安的列斯群岛风的阴影区波动减少(Strong et al., 1973¹⁾, 1974)。在一个较大的海流系统中海况的变化由增加陡波和白沫而显著, 这种变化已用来示踪和绘制湾流的西部边界图和墨西哥湾环流图(Strong et al., 1973¹⁾; Maul et al., 1973; Maul et al., 1975)。用卫星数据观测海况非但有学术意义, 更有生产意义, 它可以为海上安全航运提供信息。在国内这方面的研究未见报道。本文研究用TM图像显示海洋波动, 用TM2, TM3, TM4合成图显示海洋波动下的泥沙运动, 试图证明TM4图像显示的主要是在海洋波动和风力作用下的海况信息。

1 用卫星近红外波段数据研究海况的原理

在卫星高度测得的海面辐射由下列几部分组成:

$$L = L_A + T(L_g + L_{surf} + L_{vol} + L_{TW}) \quad (1)$$

式中, L_A 是大气的回散射; T 是大气的透射率; L_g 是海面对太阳辐射的镜面反射; L_{surf} 是海面对天空光辐射的漫反射; L_{vol} 是海水的回散射; L_{TW} 是海面的二次反射。大气的

* 国家自然科学基金资助项目, 4860273号。平仲良, 男, 出生于1937年12月, 教授。

1) Strong, A. E., 1973, National Technical Information Service, NASACR 1333115.

收稿日期: 1995年4月25日, 接受日期: 1995年9月15日。

回散射和海面对天空光辐射的漫反射对一个不大的海域可以看作一个常数, 可以在图像处理中去除。海水的回散射由于近红外波段波长大于 $0.7\mu\text{m}$, 海水的吸收系数很大, 海水的回散射可以忽略不计。因此近红外波段测得的海面辐射变化主要是由海面对太阳辐射的镜面反射变化引起的。

对一个平静的海面, 太阳的反射辐射集中在镜面反射的方向, 由于传感器的结构设计考虑, 太阳的镜面反射被阻挡不能进入传感器视场。但当海面变得粗糙时, 毛细波就象无数块向各个方向反射的小镜子, 这些小镜子反射的太阳辐射, 其中就有一部分进入卫星传感器视场, 即所谓闪烁辐射。

根据 Cox 等(1954)的研究, 当风速小于 14m/s 时, 波浪倾斜面斜率的频率分布呈 Gram-Charlier 系列, 作为一次近似, 是一个两维的各向同性的高斯分布, 分布的方差为

$$\sigma^2 = 0.003 + 0.00512V \pm 0.004 \quad (2)$$

式中, V 为风速。

假设 θ 和 φ 是卫星传感器的天顶角和方位角, θ_0 和 φ_0 是太阳的天顶角和方位角。当太阳的方向为 θ_0 和 φ_0 , 卫星传感器的方向为 θ 和 φ 时, 小镜子反射太阳光进入传感器视场的概率密度为 θ_n 和 V 的函数:

$$P(\theta_n; V) = \frac{1}{\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\tan^2\theta_n}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

式中, θ_n 是小镜子的倾角。小镜子的倾角可以由 $\theta_0, \varphi_0, \theta, \varphi$ 计算得到。

概率密度作为 θ_n 的函数如图 1 所示。如不考虑大气影响, 闪烁辐射 $L_g(\theta, \varphi; \theta_0, \varphi_0; V)$ 是概率密度的函数:

$$L_g(\theta, \varphi; \theta_0, \varphi_0; V) = \frac{E_0 r(\omega) P(\theta_n, V)}{4\cos\theta \cos^4\theta_n} \quad (4)$$

式中, E_0 是大气层顶部太阳的光谱辐照度; $r(\omega)$ 是按完全平滑面计算的反射率。大气层顶部的闪烁反射率:

$$R_g = \frac{\pi L_g}{E_0 \cos\theta_0} \quad (5)$$

可以由方程(4)推导。闪烁反射率是风速和各种几何因素的函数。风速增加, 海表面粗糙度增加, 形成泡沫覆盖, 提高了闪烁反射率。泡沫不仅反射太阳的可见光波段的辐射, 而且还反射近红外波段的辐射, 这就是用近红外波段数据探测海况的原理。

2 图像制作

陆地卫星 TM 数据有很高的空间分辨率, 在探测地物时可以提供更多的细节描述。但是陆地卫星 TM 数据在探测海洋时暴露了一个缺点, 就是专题制图器在正向扫描(自西向东)和反向回扫(自东向西)获得的数据有细小的差别(辐射值差 1—2), 这种差别

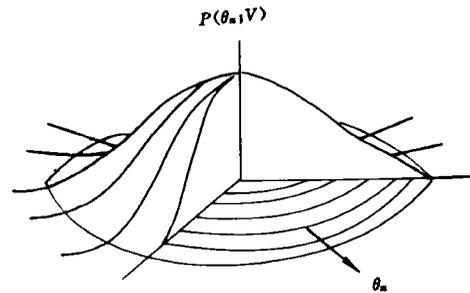


图 1 概率密度作为 θ_n 的函数, 是一个两维的各向同性的高斯分布

Fig.1 Probability density as a function of θ_n is a two dimensional isotropic Gaussian distribution

对陆地地物来说是微不足道的,在陆地卫星影像图上丝毫看不出这种差别。但是对海洋信息来说,这种差别非常可观,它可以淹没有用的海洋信息。未经处理的原始数据经常规线性拉伸增强后,图像上出现一条条深颜色、一条条浅颜色的条带,互相间隔,十分明显(见图版 I:3),而海洋信息反而模糊。为了排除这种干扰,提取有用的海洋信息,采用了信息复合技术(Overlap)。首先在图像上确定条带的宽度为 480m,正好是 TM 数据 16 个像元的宽度,也是专题制图器一次扫描的宽度。然后从陆地卫星磁带上提取一幅 TM 4 波段的 1024×1024 的原始图像数据,用信息复合技术将陆地信息全部归零,保留全部海洋信息。然后再从卫星磁带上提取同一波段同样大小但位置比前一幅图像向下错动 16 个像元的一幅图像,然后将二幅图像重叠相加成一幅图像。最后经线性拉伸增强得到一幅显示胶州湾海况信息的图像。条带缺陷因隔 16 行相加,正方向扫描和反方向回扫而引起的辐射值差异得到纠正,图像修补得几乎看不出一点破绽(见图版 I:4)。

3 海洋实况资料

卫星过境时间为 1986 年 11 月 5 日,查阅了胶州湾的潮汐资料¹⁾。1986 年 11 月 5 日为农历 10 月初四,高潮时为 5 时 51 分、18 时 46 分;低潮时为 0 时 40 分、12 时 59 分。卫星过境时正是高潮后退落 4 小时,并继续退落。

4 图像解译

4.1 TM6 图像(图版 I:1)显示胶州湾海表温度的波状特征 图像显示,胶州湾东北部、北部、西北部和西部沿岸,海表温度较低,随着深度的增加,海表温度逐渐升高。当深度到达 5—6m 等深线,海表温度突然降低。当深度再增加,海表温度又逐渐升高。到达湾口,与外海温度基本一致。图像反映胶州湾海表温度随深度的增加呈冷—较暖—暖—冷—较暖—暖的波状分布特征,是海洋波动(静振,又称副振动)的反映。图像还显示波浪运动基本沿等深线垂直方向进退。即在胶州湾东北部,波浪沿东北方向进退,在西部和西北部,波浪沿向西和北西方向进退。

4.2 TM2(蓝)、TM3(绿)、TM4(红)彩色合成图(图版 I:2)显示胶州湾的泥沙运动 根据海底地形图,东北部、北部、西北部海底较浅,岸线呈圆弧形,为沙泥海岸。东部为基岩海岸,东部港区、沧口水道、南部湾口海底较深。卫星图像摄取时间为秋末冬初的枯水期,沿岸河流基本断流,所以海水中悬浮泥沙的来源主要是沿岸浅滩已沉积的泥沙的再悬浮,是由海洋波动引起的。图像显示的悬浮泥沙分布有两个特点:一是波状分布,胶州湾西部、西北部、北部沿岸,悬浮泥沙的含量较低(蓝色),但到 1—5m 的等深线范围,悬浮泥沙含量较高,浑浊水羽呈绿色。5—10m 等深线范围,泥沙含量又低(深蓝色)。10—20m 等深线范围,泥沙含量又高(绿色)。与海表温度的波状分布相似,悬浮泥沙含量也呈波状分布。第二个特点是中、西部泥沙含量较高(绿色),而东部含量较低,特别是胶州湾东北部(紫红色)含量更低,与中西部相比,色调形成明显的对比。泥沙含量波状分布也是海洋波动的反映。图像显示,泥沙(绿色)在海洋波动作用下由西部、西北部、北部沿岸浅水区向南部深水区向湾口运移,向东运移到太平角、燕尔岛南海域,有明显的轮廓线。

4.3 TM4 图像显示胶州湾海况 图像显示胶州湾东部海面, TM 4 波段辐射值高,图

1) 1986 年潮汐表第一册,海洋科技情报研究所编。

像明亮。胶州湾中、西部辐射值低，图像阴暗。可见胶州湾中、西部悬浮泥沙较高的含量对 TM4 波段的辐射值没有起多大的增值作用，而胶州湾东北部即沧口水道位置，因海底深度较大，东部又是基岩海岸，悬浮泥沙含量较低，TM4 波段辐射值反而较高，因此它不可能是反映悬浮泥沙含量和海底深度的信息，只能是反映海洋表面的粗糙度即海况的信息。

TM4 图像在胶州湾东部辐射值高，中、西部辐射值低的原因主要是风力作用。在彩色合成图上，可以看到青岛发电厂的烟云向北北东方向扩散，烟云长达 7—8km，可以判断风向是西南风，风力也比较大，估计有 5—6 级。在胶州湾东部，风力与波浪进退方向一致，风力起到推波助澜的作用。同时北北东方向风的吹程较长，风力做功的距离也长，风力对波浪起的作用大，波浪也大。在胶州湾中、西部，波浪进退为西北和向西方向，风力与波浪进退方向斜交和正交，同时风的吹程也较短，风力对波浪起的作用小，波浪也小。

5 结语

研究从理论和胶州湾具体海域情况表明，在 TM4 图像上显示的主要是海况信息，说明用卫星近红外图像观测海况是可行的。但在实际使用过程中有二个困难：一是陆地卫星运行周期较长，不能天天重复观测；二是陆地卫星数字图像获得的费用较高，用陆地卫星图像预报海况用户可能承担不了。为此建议用诺阿卫星近红外波段图像预报海况。在此之前，还要做一些研究工作，如近红外波段辐射值与海况等级之间的关系，用近红外波段数据预报海况的精度等等。

参 考 文 献

- Apel, J. et al., 1975, *J. Geophys. Res.*, **80**: 865.
- Cox, C., Munk, W., 1954, *J. Mar. Res.*, **13**: 198.
- Maul, G. A., Gordon, H. R., 1973, COSPAR Symposium Proceedings, 23—25 May, 1973, R. F. A. (Constance), pp: 335—347.
- Maul, G. A., 1975, *Remote Sensing Environ.*, **4**: 95.
- Strong, A. E. et al., 1974, *Geophys. Res. Lett.*, **1**: 47.
- Wald, L., Monget, J. M., 1983, *Int. J. Remote Sensing*, **4**(2): 433—446.

SURVEY OF SEA STATE IN JIAOZHOU BAY USING NEAR INFRARED IMAGE OF LANDSAT-5

Ping Zhongliang

(*Environmental Science Department, Qingdao University, Qingdao 266071*)

Abstract In theory the near infrared image obtained at satellite orbit altitude above sea represents sea state. The TM6 image is made to show the wavelike features of the sea surface temperature in Jiaozhou Bay acted upon by the sea wave (seiche) in November 5, 1986. The color composite image of the TM2, TM3, TM4 band displays the suspended sediment distribution and sediment movement. The TM4 image describes the sea state in Jiaozhou Bay acted upon by the sea wave and the wind.

In Jiaozhou Bay's central and western parts, the suspended sediment contents are higher but the radiance values in the TM4 band are lower, the image appears dark. The high sediment contents do not increase the radiance values in the TM4 band. In the eastern part of Jiaozhou Bay, the suspended sediment contents are lower, but the radiance values in the TM4 band are higher, the image appears bright. So the radiance values in the TM4 band do not represent the sediment contents and depths. They give only information on the sea surface roughness or sea state.

The cloud of smoke from the Qingdao electric power plant moving 7—8km in NNE direction can be seen in the color composite image. It is obvious that the wind was strong, about 5—6 grade.

In Jiaozhou Bay's eastern part, the wind was in the same direction as that of the wave movement. The wind blew on the sea surface over a long distance. The sea surface was rough. In the central and western part of Jiaozhou Bay, the wind direction differed from that of the wave movement when the wind blew on the sea surface for a shorter distance, the sea surface was smoother.

The research led to the following conclusions: TM4 image gave information on sea surface roughness or sea state. It is possible to study the sea state using near infrared image.

Key words Near infrared image Sea state Jiaozhou Bay