

# 风云一号气象卫星海洋水色的遥感试验

林寿仁

(国家海洋局第二海洋研究所, 浙江, 杭州, 310012)

**摘要**——介绍海洋水色遥感试验用的两个通道的波段选择、数据处理方法以及用风云一号气象卫星首次飞行的资料对我国沿海水色的调查, 以及沿海海水和陆架水系交汇界面位置和渤海湾内的上升流调查的初步应用结果。

**关键词**——海洋水色, 遥感, 气象卫星。

## 1. 引 言

海洋水色调查在海洋科学研究中, 尤其在海洋动力学、海洋生态环境和海气的相互作用研究中, 有着重要的作用。许多国家正在加紧研制第二代的海洋水色遥感仪器。其中, 有美国的“海洋成像仪”(OCI)和“海洋观测宽视场传感器”(SEAWIFS), 计划在九十年代的NOAA星卫和EOSAT卫星上使用, 执行全球海洋水色观测任务。

1978年10月, 美国发射了风云-7号卫星, 首次用专用的遥感仪器——海岸带水色扫描辐射计(CZCS)对海洋水色进行遥感试验, 实验结果表明: 它具有探测海洋表层叶绿素浓度, 海面悬浮沉积物含量、光在海水中漫衰减系数等海洋水色要素的能力。

我国第一颗风云一号气象卫星在探测全球气象的同时, 增加了海洋水色遥感波段, 获取我国沿海高分辨传输(HRPT)图象, 本文利用所获得的图像对海洋水色进行了分析和研究。

## 2. 海洋水色遥感原理

海面辐射亮度  $L_w$  与海水中的物理、生物和化学参数  $X_i$  之间的内在关系, 即

$$L_w = F(X_i) \quad (1)$$

是海洋水色遥感的物理基础。海洋水色遥感实际上是从空间进行海面总辐射亮度的测量并推算海洋要素的过程。图1是海洋水色遥感的光学过程示意图。在空间轨道上遥感器测到的辐射亮度  $L_s$  是来自海面的辐射  $L_w$ , 海面对太阳光的反射  $L_0$  和大气层气体分子、气溶胶粒子对太阳光的反射  $L_p$  的总和, 即

$$L_s = (L_w + L_g)T_a + L_p \quad (2)$$

式(2)中,  $T_a$  是大气层的透过率. 可见, 在遥感器测得的辐射能量中, 除了来自海面水体辐射  $L_w$  与海水中的物理、生物和化学物质的参数有关以外, 其余两个都是海洋水色遥感的干扰量. 因此, 为了获得  $L_w$  值和推算出海洋要素的量, 就必须测量或消除海洋水色遥感的干扰量.

海洋水色遥感的主要内容包括: 从气象卫星上遥感总辐射亮度  $L_s$ , 推算海面下水体的辐射亮度  $L_w$ ; 根据经验或半经验获得的相应关系式, 反演出海水中影响海洋水色的海洋参数  $X_i$ .

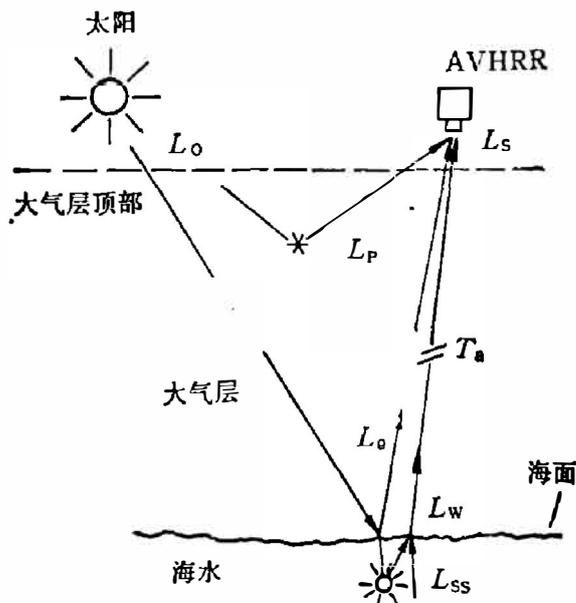


图1 海洋水色遥感光学过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram to illustrate the optical process of ocean color remote sensing.

### 3. FY-1气象卫星海洋水色试验波段的设置

#### 3.1 对 VHSR 三个通道的分析

风云一号气象卫星的主要任务是收集全球的气象云图和测量云顶的温度. 所使用的 VHSR 三个通道中,  $0.58 \sim 0.68 \mu\text{m}$  和  $0.725 \sim 1.1 \mu\text{m}$ , 可用于测量云图分布和海陆的边界; 另一个  $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$ , 可用于绘制全球表面的温度图. 可见, 风云一号卫星用于气象观测的波段设置与美国 TIROS-N 卫星上的 AVHRR 基本相似, 它可以满足气象部门的全球云图资料收集和我国天气预报服务的需要. 同时, 部份的资料也可以用于沿海海水混浊度调查以及海洋的其它用途. 但不是专门用来探测海洋水色的波段, 因为, 众所周知, 海洋的海水颜色是兰绿色的.

#### 3.2 两个海洋观测波段的选择

图2是一组不同叶绿素  $a$  浓度的海面辐射光谱特征曲线. 图中曲线1~4所示的海面叶绿素  $a$  浓度分别为  $0.029$ ,  $0.240$ ,  $0.628$  和  $0.960 (\text{mg}/\text{m}^3)$ , 曲线1, 2, 3, 为典型的大洋清洁海水类型特征, 而曲线4是沿海混浊海水类型特征. 从图2可见, 在波长  $0.52 \mu\text{m}$  附近,

海面辐射受海水中叶绿素  $a$  浓度变化的影响较少, 曲线在此呈现“折点”现象. 图 3 是在实

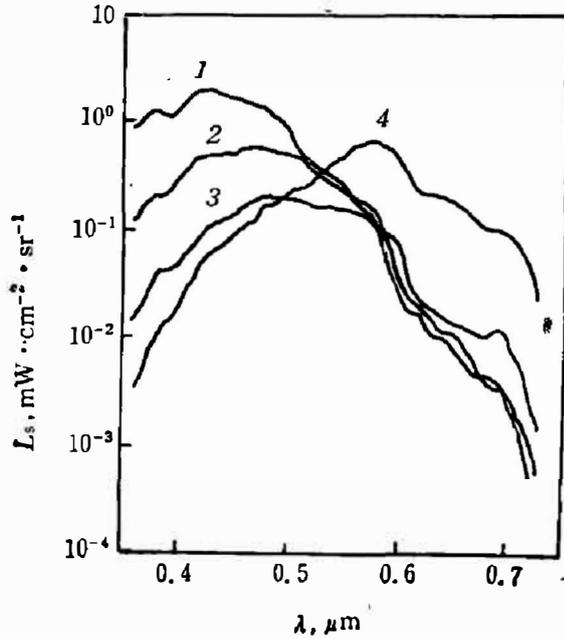


图 2 不同叶绿素浓度( $N_c$ )海面辐射光谱特征曲线

Fig. 2 The sea surface spectral radiance with different chlorophyll content  $N_c$ .

1—0.029(mg/m<sup>3</sup>), 2—0.240(mg/m<sup>3</sup>),  
3—0.628(mg/m<sup>3</sup>), 4—8.900(mg/m<sup>3</sup>)

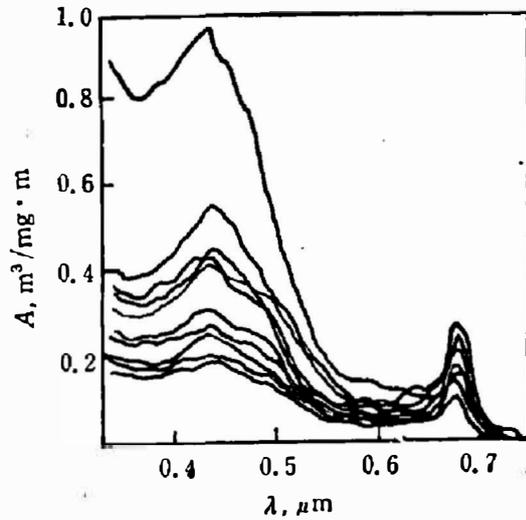


图 3 不同藻类色素的单位浓度吸收光谱曲线

Fig. 3 Spectral specific absorption for different phytoplankton per unit concentration.

验室测量的一组不同藻类色素的吸收系数曲线. 在  $0.44 \mu\text{m}$  附近叶绿素有很大的吸收, 而在  $0.55 \mu\text{m}$  左右却表现出强烈的反射. 因此, 美国第一代水色探测仪器(CZCS)在波段设置中选用了中心波长为  $0.443$ ,  $0.52$  和  $0.55 \mu\text{m}$  的三个通道, 经过许多科学家在世界范围的大洋和沿海不同海域研究表明, 经大气校准后的  $0.443$  和  $0.55 \mu\text{m}$  通道比值可有效地用于估算大洋海面叶绿素  $a$  浓度, 而  $0.52$  和  $0.55 \mu\text{m}$  通道的组合在沿海海面叶绿素  $a$  的调查中比其它组合更为有效.

考虑到上述原因和风云一号气象卫星海洋水色试验主要的对象是我国沿海海域的海水浊度和叶绿素浓度调查, 我们选用  $0.48 \sim 0.53 \mu\text{m}$  和  $0.53 \sim 0.58 \mu\text{m}$  两个波段做为沿海水色试验的两个通道.

#### 4. FY-1 气象卫星海洋水色图象的处理和应用

风云一号卫星海洋水色图象的定量处理是从 VHRSR 所测到的总辐射亮度  $L_t$  反演出海面的悬浮物含量和叶绿素  $a$  浓度值. 从式(2)可以看出, 需要处理好海面反射的辐射亮度  $L_o$  和大气散射的辐射亮度  $L_p$ .

##### 4.1 海面反射的辐射亮度 $L_o$

对于宽角的扫描辐射计, 例如 VHRSR, 所获得海面图象中总有半边是无太阳耀光, 对这半边图象可以把海面反射的辐射亮度  $L_o$  当作零.

## 4.2 大气散射的辐射亮度 $L_p$

大气散射的辐射亮度  $L_p$  是由大气中气体分子散射  $L_R$  和气溶胶粒子散射  $L_A$  组成的。一般在处理分子散射  $L_R$  时,可用瑞利分子散射理论作精确计算。而气溶胶粒子散射是比较复杂和难于处理的。因为大气中气溶胶粒子浓度是随季节和地点而变化的。尤其是陆地和沿海一带更是如此。在处理 AVHRR 资料时,多数采用“清洁水减法技术”。该技术认为最“清洁水”的海面向上辐射亮度很小,可以忽略。那么遥感仪器上的总辐射是单纯由大气散射引起的,即

$$L_s = L_p^{[0]} = L_R^{[0]} + L_A^{[0]}, \quad (3)$$

因此,从最“清洁水”区域很容易求出大气散射的总量  $L_p^{[0]}$ ; 再由瑞利散射公式计算出气体分子瑞利散射辐射亮度  $L_R^{[0]}$ , 最后推算出气溶胶粒子的散射量  $L_A^{[0]}$ , “清洁水减法技术”把海区的气溶胶粒子散射在成像一瞬间看作为到处均匀,但由于扫描仪是在一定角度范围扫描成像,大气光程长度随视场角度的增加而增加,造成大气辐射随景物的视场角度变化而变化,所以必须对象元点的位置进行校正,其校正公式为

$$L_A(\vartheta) = L_A^{[0]} \cdot \sec\theta_v(\vartheta) / \sec\theta_v(\vartheta_c); \quad (4)$$

式(4)中,  $\theta_v(\vartheta)$  是象元点的天底角;  $\theta_v(\vartheta_c)$  是清洁水所在象元点的天底角。

## 4.3 海洋参数的估算

来自海面下向上总辐射的亮度  $L_s$ , 和经过海面向上的总辐射亮度  $L_w$  之间有如下关系:

$$L_w = \frac{1-\rho}{n^2} L_s; \quad (5)$$

式(5)中,  $n$  是海水的折射率;  $\rho$  是海水界面的费涅尔反射率,它随波长不同略有变化。由于海面下向上辐射受海水中水分子悬浮的物质粒子、浮游生物和溶解于海水中的无机物质的影响比较复杂,至今尚不能完全用理论计算的方法作精确的推算。因此,在海洋水色遥感过程中往往采用经验或者半经验的方法建立它们之间的关系。

在应用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 资料估算河口和沿海的悬浮物质量时,多数采用对数模式。对 1986 年 5 月 VHSR 在东海上空校飞时的资料分析,结果也发现对  $0.58 \sim 0.68 \mu\text{m}$  通道,这种对数关系形式仍然适用。该通道的海面反射率  $R$  和海面悬浮泥沙含量  $N_s$  之间的关系为

$$R = A_0 + A_1 \log(N_s); \quad (6)$$

式(6)中,  $A_0$  和  $A_1$  均是用最小二乘法取得的系数。

对两个选定的海洋观测通道的资料,采用“兰保”比值处理,用于估算海面叶绿素  $a$  浓度也得到满意的结果。图 4 为浙江沿海象山港以东海面实测的一组资料,两个通道的比值结果为  $R_4/R_3 = L_w(0.53-0.58)/L_w(0.48-0.53)$ , 它和海面叶绿素  $a$  浓度  $N_c$  之间有良好的线性关系,这种关系可以写成

$$R_{4,3} = B_0 + B_1 N_c; \quad (7)$$

式(7)中,  $B_0$  和  $B_1$  是由实验获得的比例常数。

## 4.4 沿海混浊度和上升流的调查

风云一号气象卫星发射入轨后,在调试期间,已经取得清晰度较高的我国沿海“水色”图象的资料,9月20日我国东海长江口海域的“水色”图象见本期彩色插页图 k,它清晰地反映

了该海域沿海水系和近海陆架水之间混和骚动的细节,经过图象处理后,绘制出不同混浊度海水的“锋面”分布如图5所示.图5中虚线外缘为云复盖区,其位置约在东京124°左右,从密度分割的结果判断,离岸近的悬浮物浓度高,逐步向外递减,水系界面基本上平行于海岸.9月21日渤海湾的“水色”图象见本期彩色插页图1,图6是从该照片转绘的渤海湾混浊度分布图.在这些资料中,可以发现在辽河口以南呈现两股“上升流”.这种“上升流”是指由底层涌向海面的水体流动.这种水体含有大量的营养物质,加快了海洋生物的繁殖往往形成大的渔场.另外,“上升流”形成的原因是当代海洋动力学研究的重要课题,所以,风云一号卫星的资料将为海洋生物的调查、沿海动力学的研究提供大面积有价值的资料.

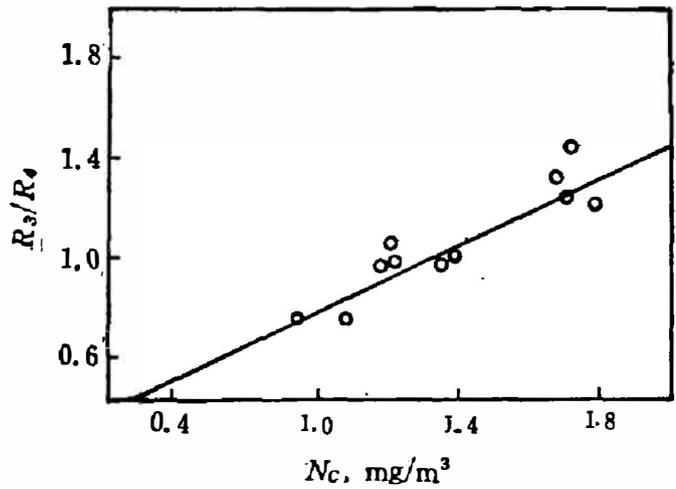


图4 浙江沿海象山港以东海面实测的蓝绿波段比值  $R_3/R_4$  与海面叶绿素 a 浓度 ( $N_c$ ) 之间的相关关系图  
 Fig. 4 The blue-green ratio ( $R_3/R_4$ ) vs the sea surface chlorophyll concentration ( $N_c$ ) measured from coastal zone in Zhejiang province.

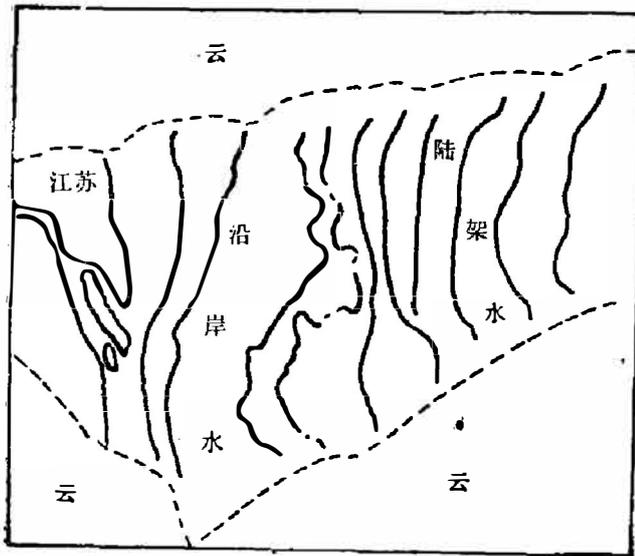


图5 东中国海海水混浊度分布图  
 Fig.5 Turbidity distribution in the East China Sea.

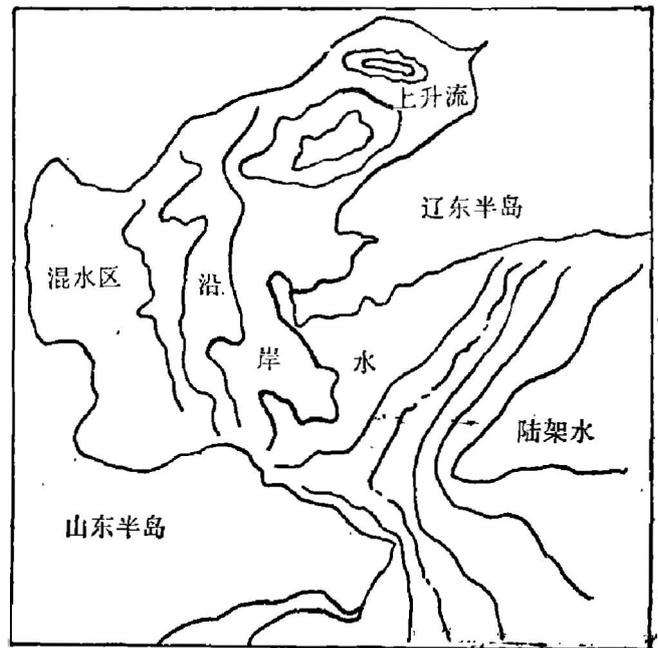


图6 渤海湾上升流和海水混浊度分布图  
 Fig.6 Uprising and turbidity distribution at the Bo Hai Bay.

### 5. 结 束 语

风云一号气象卫星海洋水色的试验由于受 VHSR<sup>1</sup> 的通道数和时间的限制,只是初步

的。其目的主要是获得各种基本数据,为今后传感器的指标选择和海洋水色遥感积累工作经验。

对风云一号卫星已经获得的一些我国沿海“水色”图象资料的分析,尤其是对东海和渤海湾的两个水色通道图象的分析来看,其结果将为用于沿海水系和上升流的研究提供有用的现况调查资料。随着海面的温度的探测和其它海洋应用的深入开展,风云一号卫星的数据定量处理和应用具有广阔的前景。

致谢——国家气象局卫星气象中心为我们提供了原始数据和图象资料,在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Stumpf, R. P., *NOAA Technical Memorandum NESDIS AISC 7*, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C. 1987, P. 1~50.
- [2] Austin, R., *Optical Aspects of Oceanography*, Academic Press, New York, 1974, P. 317~345.
- [3] Clark, D. K., *Marine Science*, (1981), 13: 227~238.
- [4] Gordon H. R. and Clark, D. K., *Applied Optics*, (1981), 20: 4175~4180.
- [5] Gower, J. F. B., *Remote sensing of shelf sea hydrodynamics*, Elsevier, Amstredam, Oxford, (1984), P. 1~24.
- [6] Sturm, B., *Remote Sensing Applications in Marine Science and Technology*, NATO ASI series, Dordrecht, 1983, P. 137~168.
- [7] Sathyendranath, S and Morel, A., *Remote Sensing of Shelf Sea Hydrodynamics*, Elsevier, Amsterdam, Oxford, 1984, P. 323~359.
- [8] Sturm, B., *Oceanography from Space*, Plenum press, New York 1981,

## OCEAN COLOR REMOTE SENSING EXPERIMENT ON FY-1 METEOROLOGICAL SATELLITE

LIN SHOUREN

(Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 310012, Hangzhou, Zhejiang, China)

### ABSTRACT

The paper introduces the selection of wavelength region for the two bands of ocean color experiment and the method of data processing. The first flying data of FY-1 Satellite are applied in the water color investigation at the East China Sea, as well as in mapping the boundary between the coastal-zone sea water and the shelf sea water, and investigating the area of uprising water at the Bo Hai Bay.