

从AVHRR红外窗区辐射测量 获取高分辨率的海面温度场

周嗣松 陈维英 张丽霞

(国家气象局卫星气象中心)

近年来,海洋资源的开发利用对海洋环境服务提出了越来越高的要求。目前用常规方法进行的海洋观测和调查,常因费用昂贵,或者受条件限制而局限在非常有限的海域,且在时间上很不连续。所以,常规的观测和调查方法很难满足日益增长的对海洋环境服务的要求。

卫星遥感技术的发展和卫星资料处理方法的进步,为人们提供了获取海洋环境信息的新途径。本文介绍一种比较简单而有效地利用TIROS-N卫星直接读出站在冬半年接收白天的AVHRR/HRPT(改进的甚高分辨率辐射计/高分辨率图象传输)资料计算海面温度的方法。这种方法的优点是计算快,不要求任何常规资料,并提供了一种很高分辨率的海面温度场。整个处理过程完全自动化。

一、TIROS-N系列卫星 和AVHRR资料

美国国家海洋大气局(NOAA)第三代业务极轨环境卫星——TIROS-N系列卫星于1978年10月开始发射,并于当年11月初投入业务运行。卫星位于约850公里高度的近圆形太阳同步轨道,轨道周期为102分钟,卫星每天绕地球14周。由于地球的自转和探测器沿垂直于卫星前进方向的侧向扫描,每天对全球范围进行两次观测。目前正在运行的是这个系列的NOAA-7和NOAA-8。

AVHRR是用于气象和海洋参数探测的主

要仪器之一。这是一种4光谱通道或5光谱通道的可见光红外波段扫描辐射计。4或5通道的AVHRR光谱波段见表1。仪器的瞬时光学视场为1.4毫弧度,星下点的空间分辨率为1.1公里。TIROS-N系列卫星用HRPT信道实时发送的AVHRR资料是原分辨率的编码形式的数字信息。信息流中同时包含用于地球观测数据定标和资料质量检验的遥测信息,以便对资料进行定量处理^[1]。

表1 4或5通道AVHRR的光谱波段

通道序号	光谱波段	
	4通道AVHRR	5通道AVHRR
1	0.58—0.68 μm	0.58—0.68 μm
2	0.73—1.10 μm	0.73—1.10 μm
3	3.55—3.93 μm	3.55—3.93 μm
4	10.50—11.50 μm	10.50—11.30 μm
5		11.50—12.50 μm

二、红外窗区辐射测量海面 温度反演的基本原理

卫星上辐射计测量到的是来自地物的放射辐射。由于所选用的大气“窗区”波段并非真正的窗,海面的放射辐射仍然受到大气中各种吸收成分的影响。大气对辐射计接收辐射的影响有二。一是海面放射辐射在传输过程被大气中的各种吸收成分衰减;这些吸收气体主要是水气、二氧化碳、氮气和甲烷等,其中水气吸

收最强烈,且其含量随纬度、地区和季节显著变化,它是影响卫星辐射测量海面温度反演精度的主要因子。二是吸收气体又向太空发射辐射,使辐射计接收的辐射增加。用数学形式表述的红外窗区辐射测量海面温度反演的基本原理,即辐射传递方程^[2]为:

$$N(\nu) = B(T_s, \nu) \cdot \tau(P_s, \nu) - \int_1^{\tau(P_s, \nu)} B(T_P, \nu) \cdot d\tau(P, \nu) \quad (1)$$

(1)式在把海面看作黑体(对选定波段海面的比辐射率为1)时成立。式中, $N(\nu)$ 是卫星上辐射计接收到的辐射率, T_s 为海面温度, T_P 为气压值等于 P 处的大气层的温度, $\tau(P, \nu)$ 为卫星至各大气层(或地面)之间的透过率, ν 为波数, $B(T, \nu)$ 为普朗克函数, 其值为:

$$B(T, \nu) = \frac{2hc^2\nu^3}{c \frac{h\nu}{kT} - 1} \quad (2)$$

式中, h , c 和 k 分别为普朗克常数、光速和玻尔兹曼常数。

如果知道大气温度和湿度的垂直分布,以及其它各种吸收成分对海面放射辐射的影响,就能计算出 $B(T_P, \nu)$ 和 $\tau(P, \nu)$, 并进而计算出海面温度 T_s ^[2]。但是目前在海洋上进行日常大气探测业务的船只甚少;在很多海域,大气探测还是空白,难以得到海洋上大气温度和湿度的垂直分布资料。除在个别研究情况外,一般都不用上列方法计算海面温度。

云的存在也影响卫星资料的海面温度反演。当辐射计的瞬时光学视场被云遮盖时,接收到的是来自云顶的放射辐射;当辐射计的视场部分被云遮盖时,接收的是海面与云顶放射辐射的总和。要利用卫星辐射测量精确地反演海面温度,必须进行大气校正和正确挑选出晴空海面观测数据(或消除受云影响的观测数据)。国内外的研究工作为解决上述问题提供了借鉴,有些较成熟的方法已用于海面温度计算^[1]。

三、计算过程

计算中应用的是 AVHRR 通道 2 和通道 4 数据,其中通道 2 用来进行云检测和区分陆/海观测数据;通道 4 用于海面温度反演。在进行云检测和大气校正之前,先要利用 AVHRR 阶段 1 B 数据集提供的定标系数,分别把通道 2 和通道 4 数据从编码计数值转换为反照率和卫星上辐射计接收的辐射率,并用普朗克公式把通道 4 的辐射率换算为放射表面的等效黑体温度(或亮度温度)^[2],以便进一步处理。

1. 晴空海面观测数据的挑选

由于海(水)面对近红外波段的反照率一般都低于 4%,随空间变化也极为缓慢(见图 1),而陆地(包括植被)、结冰海面或云顶的反照率都显著高于这个值。在用白天的 AVHRR 资料计算海面温度时,利用这一特征,很容易把晴空海(水)面观测数据挑选出来。计算中应用的通道 2 反照率阈值为 3%。如果被检测点通道 2 的反照率低于阈值,相应点的通道 4 数据被认为是晴空海面观测数据。判别式为:

$$A_1 \leq A_t \quad (3)$$

式中, A_t 为 AVHRR 通道 2 的反照率阈值, A_1 为被检测点的通道 2 反照率值。

如果计算中应用的是夜间 AVHRR 资料,就要应用比较复杂的云检测方法^[3]。

2. 大气校正

由于冬半年渤海和黄海海域大气一般比较

- 1) 周嗣松, 卫星辐射测量海面温度反演中的云检测和大气削弱订正。海洋预报服务(待发表)。
- 2) 周嗣松, 1984。利用 TIROS-N 卫星直接读出站接收的 AVHRR 资料计算局部地区的辐射收支。气象科技 3。
- 3) Mc Clain, E.P., et al., Multichannel improvements to satellite-derived global sea surface temperatures. Preprint XXII COSPAR, Ottawa, Canada, 22-29, May, 1982.

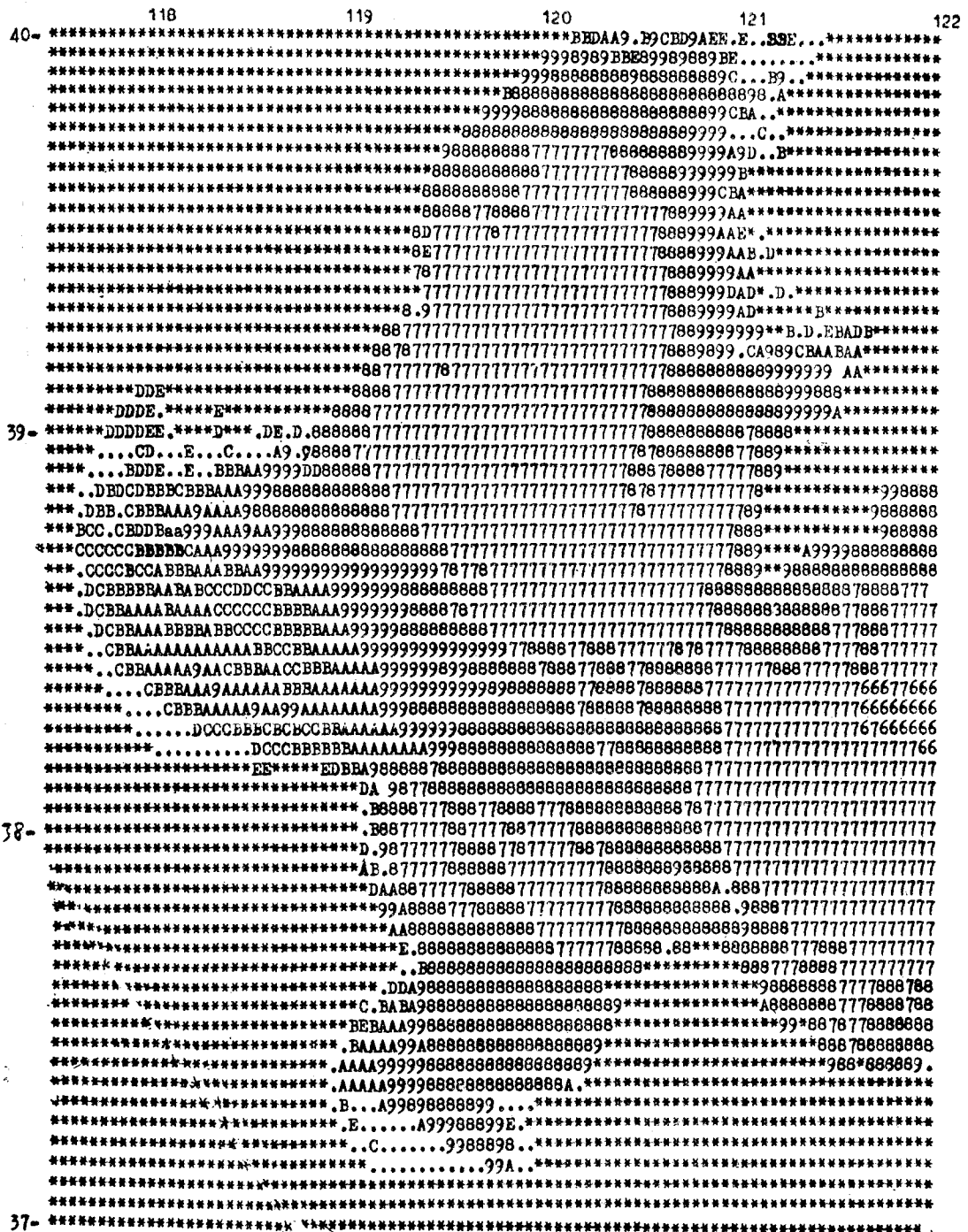


图1 海面AVHRR通道2的反照率(1984年2月18日;图中的值已扩大5倍,即图中1—E依次表示反照率0.2—2.8%)

干燥, 为简化计算, 直接沿用了W.L.Smith的单通道海面温度反演大气校正模式^[3]。这一方法与多通道海面温度反演算法^[3]多日计算结果比较, 两者十分接近。W.L.Smith方法的大气校正公式为:

$$T_s = T_B + \Delta T \quad (4)$$

式中, T_s 为所求之海面温度, T_B 为通道 4 的亮度温度, ΔT 为大气校正量, 其值为:

$$\Delta T = \left[a_0 + a_1 \left(\frac{\theta}{60} \right)^{a_2} \right]$$

$$\times \ln \left(\frac{100}{310 - T_B} \right) \quad (5)$$

$$(210^\circ < T_B < 300^\circ \text{K}, \theta \leq 60^\circ)$$

式中, a_0 , a_1 和 a_2 为回归系数, 其值分别为:

$$a_0 = 1.13, a_1 = 0.82, a_2 = 2.48; \theta \text{ 为卫星天}$$

顶角。

3. 输出格式的变换

为了获得高分辨率的海面温度场而又不使打印结果幅面过大, 我们采用了字符打印输出方式, 即把选定网格点上的计算结果四舍五入



图2 5公里分辨率卫星海面温度场(部分)(1984年2月18日)

变换成整型值,而后分别用不同的字符表示不同的温度,并通过字符——温度对照表建立对应关系。打印结果覆盖范围为 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 经/纬度,分别以 101×101 或 201×201 个字符输出分辨率为 10 公里或 5 公里的海面温度场。

四、计算结果与分析

图 2 是 1984 年 2 月 18 日 15 时 (北京时间) AVHRR 资料计算的 5 公里分辨率海面温度场。从图中可见, 5 公里分辨率海面温度场更能细致地清晰显示出冷暖海流的分布与流向。

为检验晴空海面观测数据挑选的可靠性,我们把计算结果同卫星照片进行了比较。结果表明,辽东湾大部、渤海湾南、北部和莱州湾西、南部近岸水域的冰覆盖区被排除了,黄海中部和南部的大片云区也被排除掉了。为了验证卫星海面温度的精度,把计算结果同 2 月 14 日—16 日破冰船的实地航测资料 (表 2) 进行了比较。由于航测点多数在近岸水域,绝大多数为负值;而我们的输出结果中,当温度低于 0.5°C 时,便以空白表示,不再给出具体的温度值,两者比较起来就较为困难。但是,在渤海海峡附近水温较高水域,两者十分接近,偏差在 0.5°C — 10°C 之间。

此外,我们还将计算结果同日本气象厅发布的 2 月中旬旬平均海面温度图进行了比较,

两者在数值上和分布趋势上十分一致。

表 2 破冰船航测表层水温¹⁾

(1984 年 2 月 14—16 日)

日 期	纬 度	经 度	表层水温($^{\circ}\text{C}$)
14	$38^{\circ}28'$	$120^{\circ}45'$	3.1
14	$38^{\circ}15'$	$120^{\circ}34'$	2.0
14	$37^{\circ}58'$	$120^{\circ}22'$	-0.7
15	$37^{\circ}41'$	$120^{\circ}09'$	-0.7
15	$37^{\circ}28'$	$119^{\circ}30'$	-1.1
15	$37^{\circ}44'$	$119^{\circ}17'$	-1.0
16	$38^{\circ}41'$	$119^{\circ}29'$	-1.6
16	$38^{\circ}16'$	$118^{\circ}31'$	-1.7
16	$38^{\circ}40'$	$118^{\circ}07'$	-1.1
16	$38^{\circ}54'$	$117^{\circ}59'$	-1.6

1) 破冰船航测资料由国家海洋局佟明远同志提供。

参 考 文 献

- (1) Levin Lauritson, et al., 1979. NOAA Technical Memorandum NESS 107, pp. 11—23.
- (2) Weinreb, M.P., et al., 1980. NOAA Technical Memorandum NESS 80.
- (3) Smith, W. L., et al., 1970. The determination of sea surface temperature from satellite high resolution infrared window measurements. M. W. R. 98, pp. 604—611.

A HIGH RESOLUTION SEA SURFACE TEMPERATURE FIELD DERIVED FROM AVHRR INFRARED WINDOW RADIATION MEASUREMENTS

Zhou Sisong, Chen Weiying and Zhang Lixia

(Satellite Meteorological Center, SMA)

Abstract

A procedure of deriving high resolution sea surface temperature field from digital AVHRR/HRPT data is described in this paper. For the purpose of reducing the processing time, only the reflectivity threshold of near infrared channel is used for selecting data over clear area of ocean, and W. L. Smith single window channel sea surface temperature retrieval method is used for atmospheric attenuation correction for the area of Beihai Bay and Yellow Sea during the cold half of year. Comparing with other measurements the result is quite satisfactory.