

英国北海区域卫星遥感与 船测海面温度场的比较*

杜 勇

(青岛海洋大学海洋环境学院, 青岛 266003)

I. S. Robinson

(英国南安普敦大学, U. K. S09 5NH)

提要 运用北海研究计划期间(1988年9月—1989年9月)所采集的海面温度数据与同一期间的 NOAA 卫星的 AVHRR 遥感温度数据, 检验由卢瑟福实验室提出的 RAL 线性模式反演的海面温度与船测海面温度之间的误差。检验结果表明, 误差在 0.9°C 左右。由此得出结论, RAL 模式应用于北海这样的小尺度海域并不十分完善(因为这个模式是根据全球大气模式提出的)。因此, 有必要利用小尺度海域当地的资料, 建立相应的适合于具体海域的高精度温度反演模式。

关键词 走航数据 卫星遥感 温度反演 精度检验

许多研究者致力于研究如何将美国 NOAA 卫星的 AVHRR 亮度温度数据精确地反演到海面温度 (Anding et al., 1970; McClain et al., 1985; McMillin, 1991¹⁾, 1975, 1984; Paulson et al., 1981; Robinson et al., 1984, 1989; Schluessel, 1987), 并提出了一系列的反演模式。作为海洋学家更关心由卫星遥测数据反演而得到的海面温度与海洋学研究所使用的传统海面温度之间的实际误差。尽管不同的反演模式在建立的过程中都进行过精度检验, 但由于反演模式所对应的尺度不同, 另外, 对于全球的不同区域其大气成份也不同, 因此, 对某个具体海区的反演精度有必要进一步进行检验。通常要获取卫星与船舶的同步观测数据是十分困难的。北海研究计划的实施为我们提供了一个很好的机会。根据一年中几乎不间断的走航观测的海面温度数据, 以及与之对应的卫星图象, 将二者进行了比较, 并由此得出了有意义的结论。

1 NOAA 卫星 AVHRR 资料

首先, 处理了在北海研究计划期间(1988年9月—1989年9月)的基本无云天气情况下的 NOAA 极轨气象卫星的 AVARR 数据, 将由英国 Dundee 大学接收站提供的原始数据采用 RAL (Rutherford Appleton Laboratory) 反演模式, 反演得到海面温度数据(表

* 国家自然科学基金资助项目, 49106056 号。测绘遥感信息工程国家重点实验室资助项目。杜勇, 男, 出生于 1956 年 12 月, 博士, 副教授。

收稿日期: 1993 年 5 月 20 日, 接受日期: 1993 年 8 月 23 日。

1) McMillin, L. M., 1991, A method of determining surface temperatures from measurements of spectral radiance at two wavelengths, Ph. D. dissertation, Iowa State University, Iowa City.

1)。并进行几何校正后重新采样为统一的规则区域之中。其几何校正的精度为 1.5km (传感器在星下点的最大空间分辨率为 1.1km)。因此,我们得到的是一系列 512×512 的卫星遥测海面温度 (SST) 图象, 大部分的图象的区域号为 AZA

即: $0^{\circ}12'W-6^{\circ}12'E, 50^{\circ}52'N-55^{\circ}08'N,$

$$\Delta X = 0.75'Lon., \Delta Y = 0.5'Lat.$$

为了与相应的船测温度相对应,少数几幅图象的区域号分别为 AD1 和 Scale2。

$$AD1: 3^{\circ}44'E-12^{\circ}16'E, \quad 53^{\circ}52'N-58^{\circ}08'N,$$

$$\Delta X = 1.0'Lon., \quad \Delta Y = 0.5'Lat.$$

$$Scale2: 2^{\circ}24'W-10^{\circ}2'E, \quad 49^{\circ}44'N-58^{\circ}16'N,$$

$$\Delta X = 1.5'Lon., \quad \Delta Y = 1.0' Lat.$$

共处理了 100 多幅卫星图象。经过可见光波段的分辨, 去除完全被云覆盖以及一些没有相应的船测资料的图象。最后, 共采用 31 幅卫星图象, 其中 23 幅为白天, 8 幅为夜间。白天的资料采用 RAL split-window 模式反演, 夜间资料则采用 RAL triple-window 模式反演。

表 1 RAL 温度反演模式

Tab. 1 RAL temperature retrieval model

a. Split-window 模式及系数				b. Triple-window 模式及系数				
$T_S = C_0(\alpha) + C_1(\alpha)T_{11} + C_2(\alpha)T_{12}$				$T_S = C'_0(\alpha) + C'_1(\alpha)T_{11} + C'_2(\alpha)T_{12} + C'_3(\alpha)T_{3,7}$				
卫星天顶角($^{\circ}$)	C_0	C_1	C_2	卫星天顶角($^{\circ}$)	C'_0	C'_1	C'_2	C'_3
0.0	-0.034	2.6710	-1.6689	0.0	-1.022	2.0732	-1.5249	0.4572
36.87	-0.246	2.8478	-1.8479	36.87	-0.585	2.1948	-1.6830	0.4924
48.19	-0.017	2.9610	-1.9597	48.19	-0.792	2.1891	-1.7862	0.6027
55.15	-1.503	3.0011	-1.9932	55.15	-2.337	2.1629	-1.8252	0.6747
60.0	-5.595	2.9038	-1.8795	60.0	-6.912	2.1129	-1.7144	0.6319

2 船测海面温度资料

使用挑战者号调查船北海研究计划期间 37—49 航次 (1989 年 2 月 7 日—1989 年 8 月 23 日) 的走航资料, 其表面温度数据是由拖曳式温盐记录仪在水深 1—2m 处, 每 30s 取样一次。在使用时, 以其与卫星图片相对应的点为中心, 在 5min 区间内求其沿航迹的平均值, 以便与卫星的分辨率相对应, 并可以减少随机的观测误差。

3 卫星遥感与船测海面温度数据的匹配

在卫星遥感资料与船测数据的比较过程中二者的合理匹配是很重要的。首先是时间匹配, 如果在匹配的的时间内, 海面温度的变化大于卫星遥感数据与船测数据之间的误差, 则这种比较是无意义的。第二是空间匹配, 由于卫星遥感数据的取值是 1km^2 左右的平均值, 而船测数据是一点的值, 若要使两者所代表的意义相同就必须取船测资料在相邻几个点上的平均值。第三是潮流的影响, 这既牵涉到空间也牵涉到时间。通常, 海面温度在一、二个小时内的变化是不明显的。但是水质点在这段时间中却在潮流的作用下, 从一个地方流向数公里以外的另一个地方。因此, 忽略潮流作用的匹配是不合理的。

根据以上分析,采用船测走航数据 5min 的平均值。据测算,船速一般在大约每小时 30km。因此,5min 的平均值相当于在大约 3km 的距离上 10 个观测值的平均。而在卫星图象上,则采用中心点附近 3×3 个象素值的平均与之对应,对每一幅卫星图象,分别取其过境时间前后半个小时的走航数据,并认为这时的海面温度值与卫星遥测值是同步的。如果假定潮流的平均速度为 20cm/s,则在 1h 之内,水质点的位移大约为 0.72km。因此,在这段时间区间,水质点是不会完全越出走航船测数据与卫星遥测数据匹配的区域。

另外还对海表面温度的水平分布图进行了比较。由于不可能得到同步的船测海面温度水平分布,将 10d 左右走航资料绘制的表层水温分布与这期间内某日卫星图片进行比较只具有参考意义。因为海洋表层水温常常以旬为单位进行预报,将二者进行比较可以对旬预报产生的温度水平分布结构的合理性和可靠性有一定的认识。因此采用 1989 年 8 月 18 日 3 时的卫星图象,将其取 20×20 个象素值的平均进行低通滤波,从而得到与船测数据绘制的温度分布图相似的温度等值线,根据该海区的水温状况分析,取 5℃ 为消除云污染的阈值,某些低于 5℃ 的点将被删除,然后利用邻近点进行插值,最后将船测数据(1989 年 8 月 7 日—20 日)的温度等值线与温度等值线相减,得到二者的差值分布图。

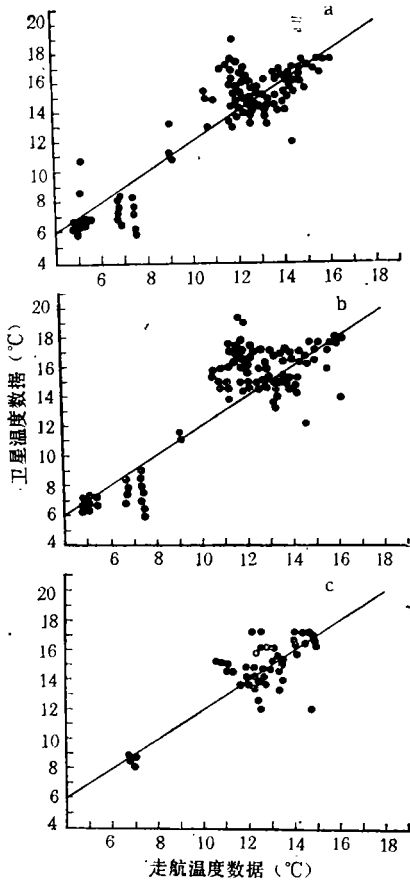


图1 NOAA-11, AVHRR, SST 数据与走航数据之比较
Fig. 1 Underway CTD Data & Satellite SST Data
a. 白天+夜间; b. 白天; c. 夜间

象素点平均值与浮标测得的海面温度值相对应求得的。这样大大减少了云污染的可能性。而对于北海这样的小尺度海域,采用这么大量的象素平均值显然是不适当的。这也说明,上述 RAL 模式应用于大尺度甚至全球模式是合理可行的,而应用于小尺度海域则

4 结果分析

由图 1a—c 可以看出,卫星遥测亮度温度经过 RAL 模式的反演与船测海面温度相比,在北海区域的均方误差为 0.9804℃。在计算过程中共取 216 个数据对。若仅比较白天或夜间的数 据,为扩大比较数据对的数量,采用卫星过境时间前后 1h 的船测数据,对白天得到 23 幅图象,249 对数据,计算结果均方误差为 1.1003℃。夜间图象共 8 幅,88 个数据对,其均方误差为 0.8454℃,明显好于白天的资料。主要原因是夜间没有太阳光的干扰,使海面温度变化较小,而且这时表层温度差异变小,并加之使用了 Channel 3 的数据,因此反演精度较高是合理的。但从总体的反演结果来看,误差都明显超过原模式 0.6 的检验误差 (Llewellyn-Jones et al., 1984)。其原因不难解释。RAL 模式的建立是根据卫星图象中 50×50 个

象素点平均值与浮标测得的海面温度值相对应求得的。这样大大减少了云污染的可能性。而对于北海这样的小尺度海域,采用这么大量的象素平均值显然是不适当的。这也说明,上述 RAL 模式应用于大尺度甚至全球模式是合理可行的,而应用于小尺度海域则

会产生较大误差。或者说,对于某些小区域可能精度较高,而对于另一些小区域则可能达不到满意的精度。

值得指出的是浮标数据与船测走航数据也是有一些不同之处的。浮标数据时间系列性强,若分析某个区域温度随时间的变化是很有意义的,但其也有不足之处,就是空间代表性差。若以某一个点的值与卫星遥感的大面积平均值对应,显然其合理性值得探讨。虽然船测走航数据一般不可以用来分析某一点的温度随时间的变化,但其空间代表性好。通过沿航迹的几个点值的平均,可以较合理地与卫星图象中的象素值相对应。

图 2 是卫星遥感反演所得数据与 10 天左右船测温度分布的差值分布图,不难看出二者的相关性是比较明显的。总体来看,卫星数据低于船测海面水温,大部分区域在 1°C 左右。需要提到的是,海温的日变化及其它气象因子的变化都将影响和干扰二者的比较。但由于传统的海温旬预报实际也无法考虑这些因素,所以,二者的相关程度可以说明,在进行海温旬预报时,参考卫星数据所获取的海面温度分布是十分有价值的。

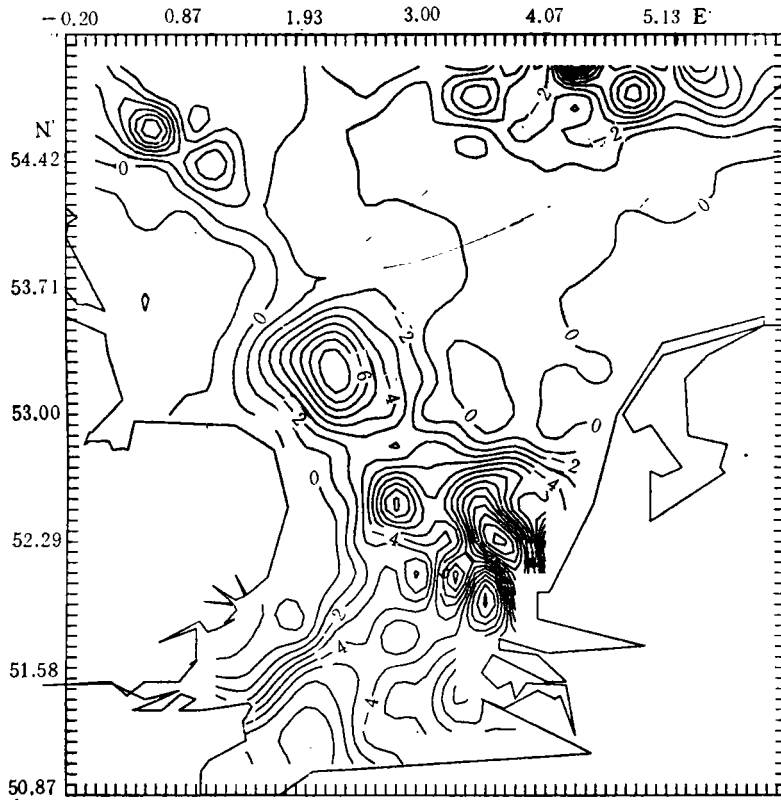


图 2 1989 年 8 月 18 日 3 时卫星数据与 1989 年 8 月 7 日—20 日船测数据之差

Fig. 2 Difference between satellite data (1989.08.18.03) and underway data (1989.08.07-20)

5 结论

大尺度的温度反演模式应用于中小尺度浅海区域将引起较大的误差。因为浅海区域的海水上层结构与大洋中是不同的。另外,不同的精度检验方式,对反演模式的检验结果

也不同。大尺度反演模式所具有的反演精度,在小尺度海域是难以达到的。

基于上述分析,可以得出结论,为获取高精度的卫星观测值,卫星遥测海面温度的反演模式应有外洋大尺度与浅海小尺度之分。对于不同的区域应当使用不同的反演模式。若进行温度分布的水平结构分析,则直接应用亮度温度即可。若进行中小尺度的定量分析则反演精度有待于进一步提高。在得出反演模式之后,若再获得新的资料则应当对反演模式不断地进行修正。

我们将进一步试图运用已获得的北海区域的卫星遥测及船测数据,建立一个适合于在北海区域内使用的 NOAA 卫星 AVHRR 温度新反演模式。

参 考 文 献

- Anding, D. & Kauth, R., 1970, Estimation of sea surface temperature from space, *Remote Sensing of Environment*, 1: 217—220.
- Llewellyn-Jones, D. T., Minnett, P. L., Saunders, R. W. et al., 1984, Satellite multichannel infrared measurements of sea surface temperature of the N. E. Atlantic Ocean using AVHRR/Z, *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 110: 613—631.
- McClain, E. P. et al., 1985, Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperature, *Jour. Geophys. Res.*, 90(6): 11 587—11 601.
- McMillin, L. M., 1975, Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption, *Jour. Geophys. Res.*, 80(3): 6.
- McMillin, L. M., 1984, Theory and Validation of the Multiple window sea surface temperature technique, *Jour. Geophys. Res.* 89(3): 3 655—3 661.
- Paulson, C. A., Simpson, J. J., 1981, The temperature difference across the cool skin of the ocean, *Jour. Geophys. Res.* 86(11): 11 044—11 054.
- Robinson, I. S., N. C. Wells, and Charnock, H., 1984, The sea surface thermal boundary layer and its relevance to the measurement of sea surface temperature by airborne and spaceborne radiometers, *Int. Jour. Remote Sensing*. 5: 1, 19—45.
- Robinson, I. S., Ward, N. 1989, Comparison between satellite and ship measurements of sea surface temperature in the northeast Atlantic Ocean, *Int. Jour. Remote Sensing*, 10(4): 787—799.
- Schluessel, P., 1987, Comparison of satellite-derived sea surface temperatures with in situ skin measurements, *Jour. Geophys. Res.* 92(3): 2 859—2 874.
- Simpson, J. J. & Paulson, C. A., 1980, Small-scale sea surface temperature structure, *Jour. Phys. Ocean.* 10: 399—410.

COMPARISON BETWEEN THE SEA SURFACE TEMPERATURE FROM SATELLITE AND THE SST FROM SHIP IN THE NORTH SEA

Du Yong

(*Ocean University of Qingdao, Qing dao 266071*)

I. S. Robinson

(*Southampton University, U. K. S09 5NH*)

ABSTRACT

NOAA-11 satellite raw data supplied by Dundee University satellite receiving station were used to obtain the brightness temperature of CH3, CH4, CH5. SST from satellite was derived in terms of the retrieval formulation for SST from NOAA spacecraft sensors suggested by the Rutherford Appleton Laboratory in 1984:

day-time: $T_s = C_0(\alpha) + C_1(\alpha)T_{11} + C_2(\alpha)T_{12}$;

night-time: $T_s = C'_0(\alpha) + C'_1(\alpha)T_{11} + C'_2(\alpha)T_{12} + C'_3(\alpha)T_{3,7}$;

Comparison between SST from satellite and conventional in situ SST of underway data from the North Sea Project in 1989 was made using 216 data sets. The RMS error was about 0.9°C, much larger than the predicted value. It is shown that the RAL method can be used with high accuracy in large-scale region, but that in shallow water and small-scale region, a larger error will be produced. So a special retrieval model is necessary for shallow water and small-scale region.

Key words Underway data Satellite remote sensing Retrieval temperature Accuracy test