

文章编号: 1674-5566(2013)03-0439-07

基于 AMSR-E 与 MODIS 数据海表面温度遥感反演研究

霍文娟¹, 韩震^{1,2}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 海洋表面温度是海洋环境的重要参数。遥感技术是进行海表面温度研究的有效手段之一。以印度洋北部海域为研究区域, 利用 Aqua 卫星上的微波数据 (AMSR-E) 和光学数据 (MODIS), 进行了海表温度反演研究。首先对 AMSR-E L2A 数据和 MODIS L1B 数据进行预处理, 然后将 AMSR-E 的各极化通道亮温数据与实测海表温度进行相关性分析, 通过多元线性回归建立 AMSR-E 海表温度的反演模型, 而 MODIS 海表温度则通过采用线性多通道算法得到, 最后以 AMSR-E 亮温数据为主, MODIS 海表温度数据为辅, 采用多元线性回归的方法建立了海表温度反演模型。利用该模型反演印度洋北部海域海表温度, 反演结果与实测数据相比, 其均方根误差为 0.323 97 °C。

研究亮点: 以印度洋北部海域为研究区域, 综合利用同一卫星 (AQUA) 上的微波数据 (AMSR-E) 和光学数据 (MODIS) 来反演海洋表面温度, 在一定程度上结合微波遥感和热红外遥感各自的优势, 实现全天候全海域的海洋表面温度遥感观测, 反演结果的精度也略有提高。

关键词: 海表面温度; AMSR-E; MODIS; 印度洋; 遥感; 多元线性回归

中图分类号: P 731.11

文献标志码: A

海洋表面温度 (sea surface temperature, SST) 在海洋学中一般是指海洋表层 1 m 厚水层的温度^[1], 但对于目前已广泛应用的卫星遥感技术获得的海表温度, 在严格意义上, 是指海洋的皮层温度 (the skin SST)。皮层温度是指位于海—气交界面下以热传导为主的薄层水体的温度, 而这一皮层的实际厚度随着辐射波长而变化^[2], 对于遥感技术常用的 3 ~ 15 μm 的红外波长来说, 皮层厚度不超过 0.1 mm; 而微波遥感的皮层厚度随着波长的减小而减小, 波长为 3 cm 的 X 波段在海水中的皮层厚度大约为 2 mm, 波长为 6 cm 的 C 波段, 其皮层厚度约为 5 mm^[3]。皮层温度易受到太阳光照、海面风速和盐度等多种因素的影响, 如何利用遥感技术获取准确可靠的海洋表面温度 (这里指皮层温度), 对于了解海洋环境信息, 进行海洋学研究具有重要意义。

利用遥感技术反演海洋表面温度, 最早在

1975 年 MCMILLIN^[4] 利用大气在 AVHRR 4 波段和 5 波段两个相邻波谱窗口的不同吸收特性, 提出了遥感反演 SST 的多通道算法, 该方法又称为“分裂窗” (split windows) 法; 在 1997 年, 李万彪等^[5] 在进行西北太平洋海表温度遥感研究中, 将 GMS 的红外资料与 NOAA/TOVS 的水汽信息结合起来对海表温度进行多通道反演试验; 2007 年, 伍玉梅等^[6] 利用 AMSR-E 卫星数据, 探讨了 AMSR-E 的 12 个通道亮温与海表温度、海面气温、湿度及风速 4 个气象参数的关系, 并利用多通道组合的方法建立了多元线性回归方程; 2011 年王雨等^[7] 利用搭载于 TRMM 卫星的微波成像仪 TMI 数据建立了适用于非降水条件下的海表温度反演算法; 同年, KOHTARO 和 QIN^[8] 利用 Aqua/MODIS 全球海洋数据, 将 MCSST、WVSST、QDSST 和 NLSST 4 种目前常用的 SST 反演算法进行对比分析, 结果表明 WVSST 模型的反演精

收稿日期: 2012-10-17 修回日期: 2013-01-21

基金项目: 国家发改委高技术产业化示范工程项目 (2009214)

作者简介: 霍文娟 (1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋遥感。E-mail: huowenjuan1985@126.com

通信作者: 韩震, E-mail: zhhan@shou.edu.cn

度最高,但其需要获得同步的水汽参数。用于海表温度遥感反演的数据中,相对于微波、热红外遥感具有较高的空间分辨率,但是其易受大气状况尤其是云层遮挡的影响;微波的穿透性使得微波遥感不受云层污染的影响,从而获得全天候近实时的海表温度产品。但是,对于近海岸,由于微波接收天线旁瓣受到陆地信号的污染而无法获得准确的观测值^[9]。本文利用 Aqua 卫星上的 AMSR-E(advanced microwave scanning radiometer-earth observing system) 亮温数据和 MODIS(moderate-resolution imaging spectroradiometer) 红外波段的数据,进行了海表面温度反演研究,最后将 SST 反演结果与实测 SST 进行了比较。

1 研究区域和数据

印度洋是联系亚洲、非洲和大洋洲的交通要道,位于其西北部的亚丁湾通过曼德海峡与红海相连,是船只快捷往来地中海和印度洋的必经之站,也是波斯湾石油输出的重要水路,本文以亚丁湾及印度洋北部海域为研究对象,研究区域如图 1 所示。

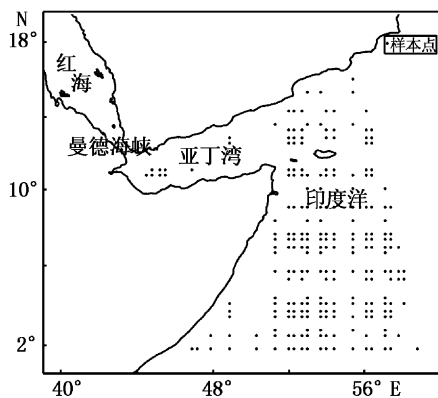


图 1 研究区域与实测数据点分布
Fig. 1 Study area and distribution of in situ data points

本文采用的遥感数据是 2010 年 1 月 Aqua 卫星上 MODIS L1B 数据和 AMSR-E L2A 亮温数据,数据来源于 NASA 官方网站 (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov> 和 <http://reverb.echo.nasa.gov>),作为同一颗卫星上的不同传感器观测同一区域时,其成像时间和大气传输路径基本相同。MODIS 红外波段和 AMSR-E 各极化波段的特性如表 1 所示。

表 1 MODIS 红外波段和 AMSR-E 各极化波段的特性
Tab. 1 Characteristics of MODIS thermal infrared bands and AMSR-E polarization bands

MODIS 红外波段		AMSR-E 各极化波段	
过境时间	10:10	过境时间	10:09
空间分辨率	1 km × 1 km	空间分辨率(重采样)	38 km × 38 km
热红外波段	波段宽度 / μm	中心频率 /GHz	波段宽度 /MHz
20	3.66 ~ 3.84	6.925	350
22	3.929 ~ 3.989	10.65	100
23	4.02 ~ 4.08	18.7	200
31	10.78 ~ 11.28	23.8	400
32	11.77 ~ 12.27	36.5	1 000
		89.0	3 000

如表 1 所示,热红外波段包括中红外(20、22、23)和远红外(31、32),中红外严重受到太阳耀斑的干扰,只适用于夜间 SST 反演^[10],所以,对于 MODIS 数据,本文选用 31 和 32 两个远红外波段。对于 AMSR-E 各双极化波段,在进行各波段相关性分析后,综合考虑其空间分辨率和对温度的灵敏度来确定用于 SST 反演的波段。

对于实测数据,本文采用全球海洋数据同化实验工程(global ocean data assimilation experiment, <http://www.usgodae.org/>)发布的实测海表温度数据,数据集名称为 SFCOBS(Surface Observations: Ship, fixed/drifting buoy, and CMAN in-situ surface temperatures),产品名称为 FNMOCS_SFCOBS,其空间分辨率为 $0.111^\circ \times 0.065^\circ$,数据包含 4 个时段,每 6 小时得到一组测量值。选取匹配点的原则是实测数据与卫星数据时间差异小于 3 h ^[11],本文选取与卫星过境时间较为接近的 12 点的样本,空间邻域小于等于 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$,共选取 236 个匹配点,其中 200 个点作为建立 SST 反演模型的数据集,其余 36 个实测点用于精度验证,匹配点分布见图 1。

2 技术路线

本文使用搭载于 Aqua 卫星上的 MODIS 和 AMSR-E 两个传感器的遥感数据,结合全球海洋数据同化实验工程发布的实测海表温度数据 FNMOCS_SFCOBS 建立了匹配点数据集,用于 SST 反演模型的建立和精度检验。首先对 AMSR-E L2A 各极化通道的原始亮温和 MODIS L1B 热红外波段的数据进行预处理,得到 AMSR-E 各极化

通道和 MODIS 热红外波段的亮温数据,然后将 AMSR-E 各极化通道亮温与实测海表温度进行相关性分析,通过多元线性回归建立 AMSR-E 海表面温度的反演模型;而 MODIS 海表面温度则是采用线性多通道算法^[10]。为了得到该研究区全天候全

海域的海表温度产品,本文进行了进一步的研究,以 AMSR-E 亮温数据为主,MODIS 海表面温度数据为辅,通过多元线性回归建立 SST 反演模型,并进行了精度验证。处理流程如图 2 所示。

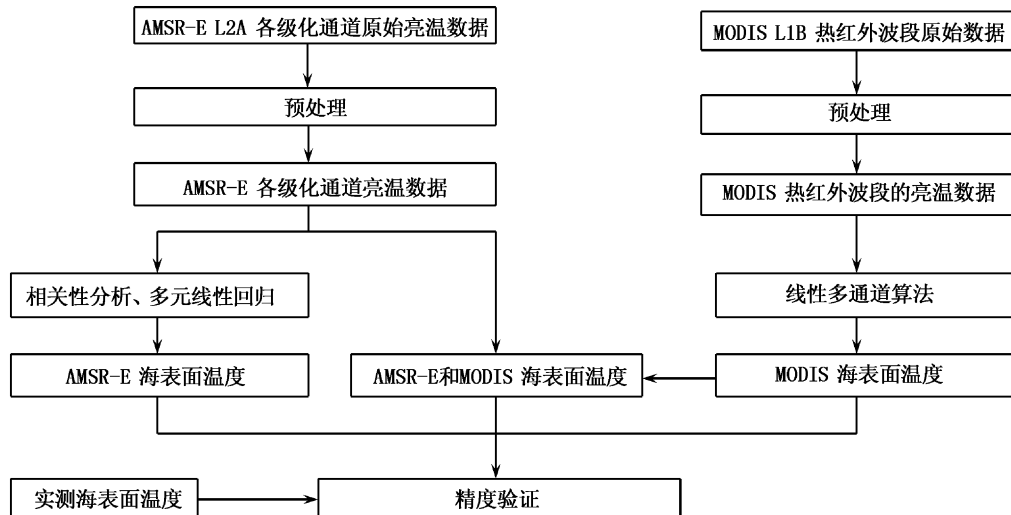


图 2 建立 SST 反演模型的流程图

Fig. 2 Technology flow chart

3 数据处理

3.1 AMSR-E 数据反演 SST

利用 AMSR-E L2A 数据反演 SST,其预处理内容包括地理定标、亮温数据定标、陆地掩膜。目前,AMSR-E SST 产品的业务化算法多是基于辐射传输模式的单通道反演,由于获得同步气象参数较为困难,使得该反演算法在应用上有一定的局限性。近年,一些学者提出基于统计的经验算法,即多通道组合、多参数线性回归法^[12],该方法对通道亮温以外的气象参数依赖性弱,简单易操作。

为了消除波段之间的噪音及其它参数的影响,本文选择同一频率的两种不同极化通道进行组合,采用 MATLAB 的 corrcoef 函数将各频率不同极化通道的亮温数据与实测 SST 进行相关性分析(由于 6.925 GHz 波段的空间分辨率只有 75 km × 43 km,所以不做考虑),相关系数如表 2 所示。

从表 2 可以发现各波段亮温与实测 SST 的相关度均高于 0.8,为了保留各通道的原始信息,

我们选择空间分辨率相同且对 SST 敏感度较高的 18.7 GHz 和 23.8 GHz 两个频率的双极化通道亮温作为反演参数,建立如式(1)所示的 SST 反演模型。

表 2 SST 与 AMSR-E 遥感参数间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients of SST and AMSR-E remote sensing parameters

遥感参数	实测 SST
T_{89V}	0.868 5
T_{89H}	0.867 5
$T_{36.5V}$	0.875 6
$T_{36.5H}$	0.866 7
$T_{23.8V}$	0.898 7
$T_{23.8H}$	0.898 7
$T_{18.7V}$	0.895 3
$T_{18.7H}$	0.892 6
$T_{10.65V}$	0.828 1
$T_{10.65H}$	0.810 0

$$T_{SS} = A_1 + A_2 \times T_{18.7H} + A_3 \times T_{18.7V} + A_4 \times T_{23.8H} + A_5 \times T_{23.8V} \quad (1)$$

式中: A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 和 A_5 是模型的回归系数, $T_{18.7H}$ 、 $T_{18.7V}$ 、 $T_{23.8H}$ 、 $T_{23.8V}$ 分别是 18.7 GHz 和 23.8

GHz 的水平极化亮温和垂直极化亮温。

将 18.7 GHz 和 23.8 GHz 的双极化通道亮温与实测 SST 作为输入参数进行多元线性回归, 所得方程系数及各系数的区间估计如表 3 所示。

表 3 AMSR-E 反演 SST 的多元线性回归系数
Tab. 3 Multiple linear regression coefficients for AMSR-E SST retrieval

回归系数	置信区间
A_1	257.796 5 [209.417 1, 306.175 8]
A_2	0.002 3 [-0.179 4, 0.183 9]
A_3	-0.043 9 [-0.345 7, 0.258 0]
A_4	-0.131 9 [-0.354 9, 0.091 1]
A_5	0.324 8 [-0.044 3, 0.693 9]

将表 3 中的回归系数代入式(1), 我们得到利用 AMSR-E 数据反演 SST 的模型如(2)式所示:

$$T_{SS} = 257.796 5 + 0.002 3 \times T_{18.7H} - 0.043 9 \times T_{18.7V} - 0.131 9 \times T_{23.8H} + 0.324 8 \times T_{23.8V} \quad (2)$$

式中: $T_{18.7H}$ 、 $T_{18.7V}$ 、 $T_{23.8H}$ 、 $T_{23.8V}$ 分别是 18.7 GHz 和 23.8 GHz 的水平极化亮温和垂直极化亮温。

图 3 为通过式(2)得到的印度洋北部海域 AMSR-E SST 遥感定量反演图。

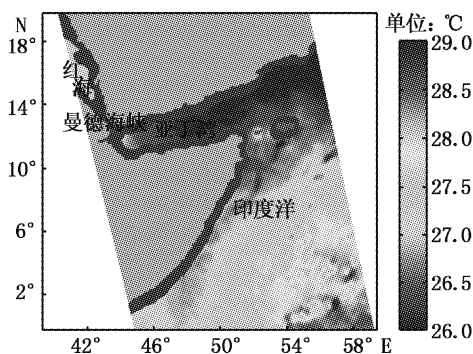


图 3 印度洋北部海域 AMSR-E SST 遥感定量反演图
Fig. 3 AMSR-E SST in the northern Indian Ocean

由图 3 可见, AMSR-E 未受云层遮挡的影响, 利用微波遥感可以获得全天候的 SST 产品, 但是在靠近陆地区域(图中沿岸深灰色部分), 由于微波接收天线旁瓣受到陆地信号的污染而无法获得准确的海表面温度值, 所以对于近岸海区, 我们需要使用光学遥感数据 MODIS 进行 SST 反演。

3.2 MODIS 数据反演 SST

对 MODIS L1B 数据进行预处理包括地理定标、消除“蝴蝶结”效应、辐射定标、陆地掩膜和云

检测。

经过辐射定标后, 影像像元值为辐射度, 依据基尔霍夫定律, 利用式(3)将红外波段的辐射度转换为亮温:

$$T = \frac{hc}{k\lambda \ln\left[\frac{2hc^2\lambda^{-5}}{L} + 1\right]} = \frac{C_1}{\lambda \ln\left[\frac{C_2}{L\lambda^5} + 1\right]} \quad (3)$$

$$C_1 = hc/k = 0.014 394 \text{ K} \cdot \text{m}$$

$$C_2 = 2hc^2 = 1.191 024 5 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

式中: h 为基尔霍夫常数, $h = 6.626 076 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{S}$; c 为光速, $c = 2.997 9 \times 10^8 \text{ m/s}$; k 为波尔兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 。

大气是影响热红外遥感反演 SST 的主要因素, 因此, 如何降低其影响成为提高 SST 热红外遥感定量反演精度的关键^[13]。国内外常用的方法是将不同热红外波段测量值进行线性组合来消除大气影响, 然后通过统计回归建立 SST 反演模型, 即分裂窗技术。目前采用最多的是 MCMILLIN 提出的线性多通道算法 MCSST (multi-channel sea surface temperature), 其形式可以表达为^[4]:

$$T_{SS} = C_1 + C_2 \times T_i + C_3 \times (T_j - T_i) \quad (4)$$

式中: T_i 和 T_j 是两个热红外波段的亮度温度; C_1 、 C_2 、 C_3 是模型回归系数。

根据(4)式和 MODIS 热红外波段的特性, 本文选择热红外波段 31 和 32 作为主要的反演波段, 将 T_{32} 和 $(T_{31} - T_{32})$ 两个遥感参数与实测 SST 作为输入项, 进行多元线性回归, 所得方程系数及各系数的区间估计如表 4 所示。

表 4 MODIS 反演 SST 的多元线性回归系数
Tab. 4 Multiple linear regression coefficients for MODIS SST retrieval

回归系数	C_1	C_2	C_3
回归系数	318.494 8	-0.046 5	0.812 6
区间估计	[306.6544, 330.335]	[-0.0917, -0.0013]	[0.3763, 1.2489]

将表 4 中的回归系数代入公式(4)我们得到 MODIS SST 的反演模型如(5)式所示:

$$T_{SS} = 318.494 8 - 0.046 5 \times T_{32} + 0.812 6 \times (T_{31} - T_{32}) \quad (5)$$

图 4 为通过式(5)得到的印度洋北部海域 MODIS SST 遥感定量反演图, 图中白色区域为受到云层遮挡的像元, 从图 4 可以发现, 东部区域

普遍受到云层覆盖的影响,尤其在低纬度地区,影响最强烈。

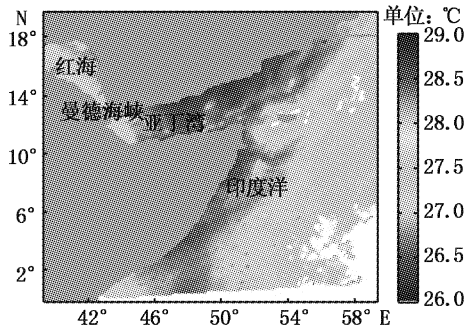


图4 印度洋北部海域 MODIS SST 遥感定量反演图
Fig.4 MODIS SST in the northern Indian Ocean

3.3 AMSR-E 数据和 MODIS 数据反演 SST

为了能够获得研究区域全天候全海域的海表温度产品,本文采用 18.7 GHz 和 23.8 GHz 的双极化通道亮温作为主要的反演参数,并将 MODIS SST 作为初始场,进行多元线性回归,建立如式(6)所示的 SST 反演模型:

$$T_{SS} = C_0sst_0 + C_1T_{18.7H} + C_2T_{18.7V} + C_3T_{23.8H} + C_4T_{23.8V} + C \quad (6)$$

式中: sst_0 为 MODIS SST, $T_{18.7H}$ 、 $T_{18.7V}$ 、 $T_{23.8H}$ 、 $T_{23.8V}$ 分别是 18.7 GHz 和 23.8 GHz 的水平极化亮温和垂直极化亮温, C_0 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C 是模型的回归系数。

与实测 SST 做多元线性回归,得到的回归系数及各系数的区间估计如表 5 所示。

表 5 遥感反演 SST 的多元线性回归系数
Tab.5 Multiple linear regressions coefficients for SST retrieval

回归系数	区间估计
C_0	0.235 7 [-0.0121, 0.4836]
C_1	0.067 3 [-0.1241, 0.2587]
C_2	-0.133 3 [-0.4450, 0.1783]
C_3	-0.206 1 [-0.4391, 0.0268]
C_4	0.440 1 [0.0571, 0.8231]
C	183.476 1 [91.9660, 273.9863]

对于近岸海区,我们仍沿用 MODIS SST 的反演模型,首先将 AMSR-E SST 与 MODIS SST 进行减法运算,求得差值,绘制差值曲线图(图 5),通过曲线上的距平异常值来确定近海区受陆地信号污染的象元的地理坐标。MODIS SST 与 AMSR-E SST 的差值介于 0.000 3 ~ 16.925 7 °C

之间,取曲线拐点处为临界值(位于拐点右侧的曲线斜率比左侧斜率大一个数量级),差值大于等于临界值 0.932 9 °C 的微波像元即可认为是受到陆地污染的像元。将表 5 中的回归系数代入公式(6),我们可以得到全海域 SST 的反演模型如(7)式所示。

$$T_{SS} = \begin{cases} 318.4948 - 0.0465 \times T_{32} + 0.8126 \times (T_{31} - T_{32}) & (\Delta T \geq 0.9329 \text{ } ^\circ\text{C}) \\ 0.2357sst_0 + 0.0673 \times T_{18.7H} - 0.1333 \times T_{18.7V} & \\ -0.2061 \times T_{23.8H} + 0.4401 \times T_{23.8V} + 183.4761 & (\Delta T < 0.9329 \text{ } ^\circ\text{C}) \end{cases} \quad (7)$$

式中: ΔT 为 MODIS SST 与 AMSR-E SST 差值的距平值,其它同方程(5)和方程(6)。

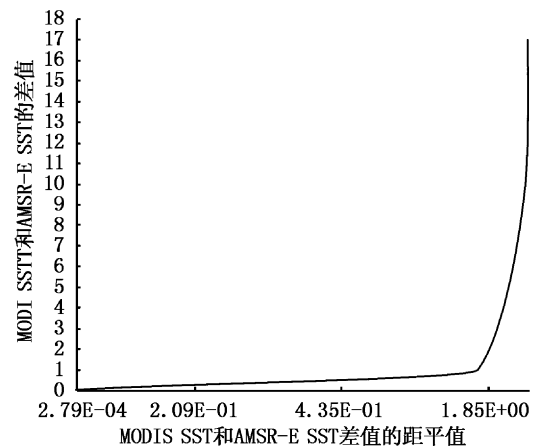


图 5 MODIS SST 与 AMSR-E SST 差值距平统计曲线图

Fig.5 statistical curve of differential anomaly between MODIS SST and AMSR-E SST

图 6 为通过式(7)得到的印度洋北部海域 SST 遥感定量反演图,在图 6 中,由于以微波遥感参数为主,降低了反演结果对云层影响的敏感度,较好的消除了不易检测的薄云影响,对于水汽吸收严重、云层较厚地区(0° ~ 5°N, 55° ~ 58°E)的异常温度值采用 Kriging 插值法进行替换,同时,由于热红外波段几乎不受海面风的影响,用同步的热红外温度场作为初始温度输入值,在一定程度上降低了海面粗糙度对反演结果的影响。

与目前业务化的 SST 产品直接融合相比,本文提出的模型(公式 7)更好地保留了各通道原始辐射信息,从而避免了二次处理对 SST 产品反演精度的影响。

对比图 3、图 4 和图 6, 图 3 在靠近陆地区域, 由于微波接受天线旁瓣受到陆地的污染而无法获得准确的 SST, 图 4 在部分区域受云层遮挡的影响, 也无法得到 SST。而图 6 结合了热红外遥感技术和微波遥感技术各自的优势, 从而获得不受天气状况影响的全天候全海域 SST 产品。

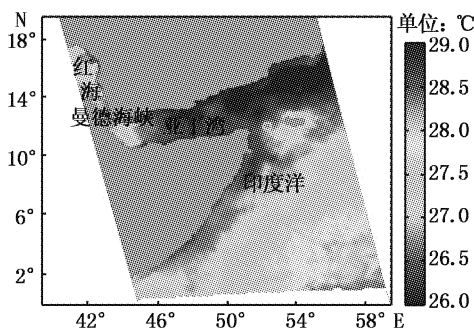


图 6 印度洋北部海域 AMSR-E 和 MODIS SST 遥感定量反演图

Fig. 6 SST in the northern Indian Ocean from AMSR-E and MODIS data

3.4 精度验证

为了对 AMSR-E、MODIS、MODIS&AMSR-E 定量反演的 SST 的精度进行验证, 我们将 SST 反演结果与实测 SST 进行了比较, 表 6 为三种反演方式的最大绝对误差、最小绝对误差、平均绝对误差和均方根误差 RMSE。从表 6 中我们可以发现, 最大的绝对误差出现在 MODIS SST 中, AMSR-E SST 的平均绝对误差小于 MODIS SST, MODIS&AMSR-E SST 的平均绝对误差最小, MODIS&AMSR-E SST 的均方根误差为 0.324 0 °C, 也分别小于 AMSR-E SST 和 MODIS SST, 这表明 MODIS&AMSR-E SST 的总体反演精度要优于 AMSR-E SST 和 MODIS SST; 由于在近海缺乏实测数据, 对于模型(7)边界处 ($\Delta T = 0.9329$ °C) 的反演结果没有得到验证, 从图 6 知, 该处反演结果误差较大, 这在很大程度上与距异常值的临界值选取有关, 若 ΔT 取值过大, 将有部分受陆

表 6 SST 反演精度评价

Tab. 6 SST retrieval accuracy verification °C

误差	最大绝对误差	最小绝对误差	平均绝对误差	均方根误差
MODIS SST	1.104 1	0.000 7	0.430 7	0.505 1
AMSR-E SST	0.737 8	0.002 3	0.282 1	0.331 2
MODIS&AMSR-E SST	0.748 6	0.006 5	0.270 8	0.324 0

地信号污染的像元值存留, 影响反演精度。这将在以后的研究中改进。

4 结论

本文利用搭载于 Aqua 卫星上的 AMSR-E 和 MODIS 两个传感器的遥感数据, 在经过预处理后得到海洋表面亮温数据, 结合全球海洋数据同化实验室发布的实测海表温度数据 SFCOBS-GHRSSST 建立了匹配数据集, 用于 SST 反演模型的建立和精度检验。首先, 对 AMSR-E 亮温数据与实测 SST 进行相关性分析, 通过多元线性回归建立了 AMSR-E SST 反演模型, 得到 AMSR-E SST, 而 MODIS SST 则采用线性多通道算法得到。在分析了热红外遥感 SST 与微波遥感 SST 各自的优缺点后, 为了得到全天候全海域的海表温度产品, 本文以 AMSR-E 亮温数据为主, 将 MODIS SST 作为初始温度场, 综合应用两种不同的遥感数据, 进行多元线性回归, 建立了分段函数形式的 SST 反演模型。该模型为简单的线性形式, 不受气象参数的制约, 简单易操作, 在保留各通道原始辐射信息的基础上, 既具有微波遥感的全天候特性又可以同时利用红外遥感数据得到近海域海表温度; 经过实测验证, 反演数值的均方根误差为 0.324 0 °C, 总体反演精度优于 MODIS SST 和 AMSR-E SST, 对于边界处的反演结果, 将在以后研究中改进。试验表明, 以微波遥感数据为主, 光学遥感数据为辅是实现全天候全海域 SST 遥感反演的有效手段之一。

参考文献:

- [1] 冯士筌, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] DONLON C J, MINNETT P J. Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research[J]. Journal of Climate, 2002, 15(4): 353-369.
- [3] 殷晓斌, 刘玉光, 王振占, 等. 红外和微波辐射计反演海表面温度的比较[J]. 海洋通报, 2007, 26(5): 3-10.
- [4] MCMILLIN L. Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption[J]. Journal of Geophysical Research, 1975, 80(26): 5113-5117.
- [5] 李万彪, 朱元竞, 赵柏林. 气象卫星遥感西北太平洋海温的研究[J]. 气象学报, 1997, 55(1): 44-52.
- [6] 伍玉梅, 何宜军, 张彪. 利用 AMSR-E 资料反演实时海面气象参数的个例[J]. 高技术通讯, 2007, 17(6):

- 633 - 636.
- [7] 王雨,傅云飞,刘奇,等.一种基于 TMI 观测结果的海表面温度反演算法[J].气象学报,2011,69(1):150 - 159.
- [8] KOHTARO H, QIN H. Algorithm for estimating sea surface temperatures based on aqua/MODIS global ocean data. 1. development and validation of the algorithm [J]. Journal of Oceanography, 2011, 67(1): 135 - 145.
- [9] 蒋兴伟,宋清涛.海洋卫星微波遥感技术发展现状与展望[J].科技导报,2010,28(3):105 - 110.
- [10] 张春桂,任雍,蔡义勇,等.基于 MODIS 数据的台湾海峡 SST 区域遥感监测模型研究[J].热带气象学报,2009,25(1):73 - 80.
- [11] KOHTARO H, HIROSHI M, FUTOKI S, et al. Algorithm and validation of sea surface temperature observation using MODIS sensors aboard terra and aqua in the western north pacific[J]. Journal of Oceanography, 2007, 63(2): 267 - 280.
- [12] YAN B H, WENG F Z. Applications of AMSR-E Measurements for tropical cyclone predictions part I: retrieval of sea surface temperature and wind speed[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2008,25(2): 227 - 245.
- [13] 何全军,张月维,曹静等.基于 IDL 的 MODIS1B 数据 SST 反演[J].热带气象学报,2009,25(2):205 - 208.

Retrieval of sea surface temperature from AMSR-E and MODIS in the Northern Indian Ocean

HUO Wen-juan¹, HAN Zhen^{1,2}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The sea surface temperature (SST) is an important parameter of marine environment. The remote sensing technology is an effective means to retrieve the sea surface temperature. In this paper, we studied the retrieval of sea surface temperature by using the brightness temperature data obtained from the Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E), the infrared data from the Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and in situ SST data from the Global Ocean Data Assimilation Experiment in the Northern Indian Ocean. The original brightness temperature data of the polarization channels from AMSR-E L2A and the original MODIS L1B thermal infrared data were preprocessed firstly, and then the retrieval model of AMSR-E SST was built on the multi-parameters linear regression, based on the correlation among the AMSR-E brightness temperature and the in situ sea surface temperature. The MODIS SST was retrieved by Multichannel algorithm. Finally, we obtained the SST from the AMSR-E brightness temperature and MODIS SST by an AMSR-E and MODIS SST retrieval model developed by the multi-parameters linear regression. This retrieval model mainly relied on the AMSR-E brightness temperature while making the MODIS surface temperature subsidiary. Compared with the in situ SST, the root mean square error of retrieved results is 0.323 97 °C.

Key words: sea surface temperature; Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System; Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer; the Indian Ocean; remote sensing; multiple linear regressions