

台湾海峡及其邻近海域 AVHRR 遥感 SST 的初步验证

李娜^{1,2}, 孙凤琴^{1,2}, 张彩云^{1,2}, 商少凌¹, 洪华生^{1*}

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 2. 厦门大学海洋学系, 福建 厦门 361005)

摘要: 采用现场走航数据与站点观测数据分别对台湾海峡及其邻近海域的高(1.1 km、每天)、低(9 km、月平均)时空分辨率遥感 AVHRR MCSST 和 PFSST 产品进行检验。结果表明, MCSST 和 PFSST 产品与两种现场资料在时空变化趋势上都有着很好的一致性, 相关系数的平方(R^2)在 0.68 以上。高分辨率 MCSST 精度为 (0.11 ± 0.97) , 与美国沿岸海域验证精度相当, 达到当前国际上利用 NLSST 算法反演 LAC 数据所能达到的水平。虽然低分辨率 PFSST 在探测强烈的温度梯度时存在不足, 趋向于削弱实际的温度锋。但总体来看, AVHRR SST 遥感数据可适用于分析台湾海峡及其邻近海域温度场的时间变动趋势及空间变化特征。

关键词: 台湾海峡; AVHRR SST; 验证

中图分类号: P 731.1

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)03-0383-05

卫星遥感数据凭借着其覆盖面积大、频率高、可在全球范围内同步观测等优势, 在海洋科学研究中已得到广泛应用。AVHRR SST (Advanced Very High Resolution Radiometer Sea Surface Temperature) 是广泛应用的遥感 SST 数据源。美国 NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory) 数据分发中心提供的基于 Pathfinder 算法反演的海表温度产品(PFSST) 主要包括空间分辨率为 9、18 和 54 km 的单日、8 天平均和月平均全球资料^[1]。基于 PFMDB (Path finder Matchup Database) 中浮标资料的检验结果, PFSST 产品的偏差在全球意义上为 (0.1 ± 0.5) ^[1]。但在中国近海, 尤其是台湾海峡及其邻近海域, PFMDB 中浮标资料极为匮乏, 该海区 PFSST 产品资料及高分辨 HRPT (High Resolution Picture Transmission) 站接收反演的 MCSST (Multi-Channel Sea Surface Temperature) 数据的精度如何, 尚未可知。目前见诸报道的中国近海检验结果仅限于黄海及东海海域^[2,3]。为此, 本文采用现场走航与站位观测数据首先对台湾海峡及其邻近海域的低分辨率 AVHRR PFSST 产品进行检验, 并在此基础上再利用现场走航资料对高分辨率 AVHRR MCSST 产品进行检验。本研究结果将为区域性 SST 算法的改进以及中国近海 SST 时间序列的构建提供

一定的参考依据。

1 数据源与方法

1.1 数据源

(1) 遥感数据

AVHRR PFSST 源自 NASA JPL 数据中心 (<http://podaac.jpl.nasa.gov>), 选用的是空间分辨率为 9 km 的月平均数据, 为消除白天太阳辐射所造成的 SST 的短期波动, 文章中仅采用晚间收集的数据。

AVHRR MCSST 取自本实验室华云极轨卫星地面接收站接收的 HRPT 数据, 原始数据为 1A 格式, 采用多通道算法^[4] 反演得到每天的海表温度产品, 其空间分辨率为 1.1 km (星下点)。

(2) 实测数据

实测现场温度数据主要来自厦门大学研究课题“闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究”(1987~1990年)、“台湾海峡生源要素生物地球化学过程研究”(1996~2000年)以及“珠江三角洲及其邻近的南海北部海域中碳的生物地球化学循环研究”等项目的成果, 包括走航和大面单点的站位数据。

走航温度数据采用 SeaBird21 表层温盐仪观测, 包含了 1998 年 3 月 3~6 日、1998 年 8 月 10~18 日和 1999 年 8 月 12~19 日 3 个航次。

站位温度数据采用 Mark-III 型 CTD 记录仪 (1987~1988 年间) 和 SeaBirdCTD19 (1997~2003 年间) 测量, 包含 1987 年 12 月、1988 年 4 月、1988 年 6

收稿日期: 2005-06-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40331004)资助

作者简介: 李娜(1981-), 女, 硕士研究生。

*通讯作者: hshong@xmu.edu.cn

月、1997 年 8 月、1998 年 2 月、1998 年 3 月、1998 年 8 月、1999 年 8 月和 2003 年 5 月时间段,主要集中在春、夏、冬三季.

1.2 数据的处理

(1) 遥感数据的处理

由于低分辨率 AVHRR PFSST 月平均数据已为三级产品,仅需切割出所需海域(15 ~ 30°N, 110 ~ 130°E)的数据.

高分辨率 AVHRR MCSST 数据的处理流程如下:

1) 华云极轨卫星地面接收站接收的为 HRPT1A 格式的数据,经配套软件转化为 1B 格式;

2) 辐射量定标:包括可见光及红外波段的校准,1、2 波段经校准后转化为反射率值 R_1 与 R_2 ,3、4、5 波段经校准后转化为亮温值 T_3 、 T_4 与 T_5 ;

3) 云、陆地的探测及去除:所采用的算法为单通道阈值、多通道差分、空间均一性相综合的方法^[1,5,6];

4) 大气校正,海温定量反演:采用多通道分裂窗区算法^[4]进行 SST 的反演.为获得更好的精度,方程中包含对大气路径长度随卫星天顶角变化的校正^[7];算法方程如下:

$$SST_{sat} = A T_4 + B (T_4 - T_5) + C(\sec \theta - 1)(T_4 - T_5) + D$$

方程中 T_4 、 T_5 分别为第四与第五波段的亮温值(单位为 K),为卫星天顶角值(单位为弧度).系数 A、B、C、D 的值源自基于全球漂移浮标数据与热带太平洋固定浮标数据的回归模型;

5) 地理定位及投影,生成三级的 AVHRR MCSST 产品.

(2) 现场数据的处理

首先是进行数据的质量控制.通过简单作图及统计法去除走航数据中因采样或仪器等原因而产生的包含有日期、经纬度错误信息的数据点,以及温度落在 10 ~ 35 °C 范围外或相邻温差 > 2 °C 的可疑点,并筛选出台湾海峡及邻近海域(15 ~ 30°N, 110 ~ 130°E)的数据.

其次,为了与遥感数据的空间分辨率相匹配,将采样间隔约为 30 或 150 m 的走航数据处理成空间距离约为 1 或 9 km 的新数据列,而其对应的温度值则采用该范围内的平均值.

(3) 匹配数据库的生成

考虑到受云影响,匹配后找出的与现场走航数据时间上相对应的低分辨率遥感数据组相当有限,因此 AVHRR PFSST 选用的是月平均数据.3 个航次所得到的匹配数据共 477 组,其中冬季 21 组,夏季 456 组.

而高分辨率 AVHRR MCSST 选用的是与走航数据时间相差在 ±2 h 的图像.在 3 个航次间,共选出 7 张较好的图像,提取出匹配数据组 651 组,其中冬季 78 组,夏季 573 组.

2 结果与讨论

2.1 走航温度与低分辨率 AVHRR PFSST 的比较

图 1 显示了相匹配的走航数据与 AVHRR PFSST 遥感数据点的分布.匹配点遍及台湾海峡大部分海区,这就使比对有了一定的代表性.

走航温度与低分辨率 AVHRR PFSST 的比较结

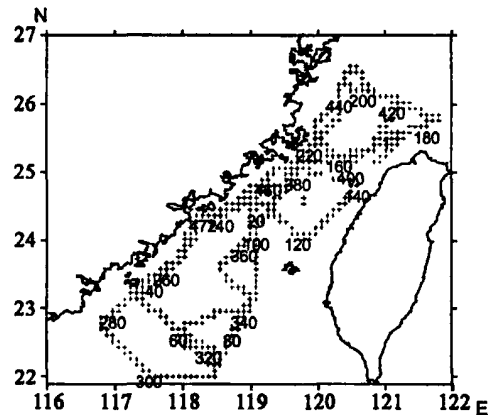


图 1 走航数据与遥感 AVHRR PFSST 匹配数据点的分布
Fig. 1 Distribution of matchup data between underway mapping SST and AVHRR PFSST

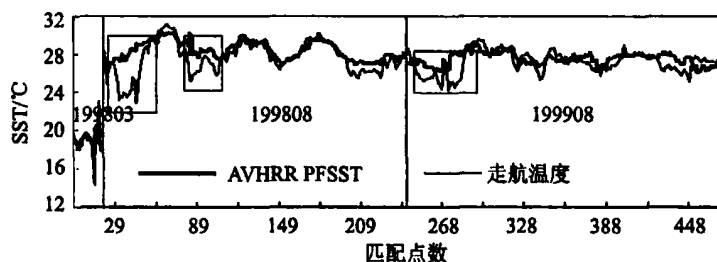


图 2 走航温度与遥感 AVHRR PFSST 的比较

Fig. 2 Comparison between underway mapping SST and AVHRR PFSST

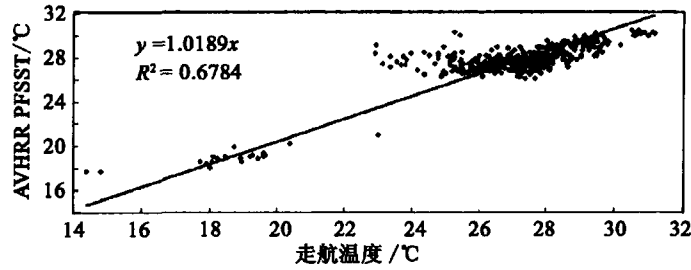


图 3 走航温度与遥感 AVHRR PFSST 的散点分布图

Fig. 3 Scatter diagram of underway mapping SST and AVHRR PFSST

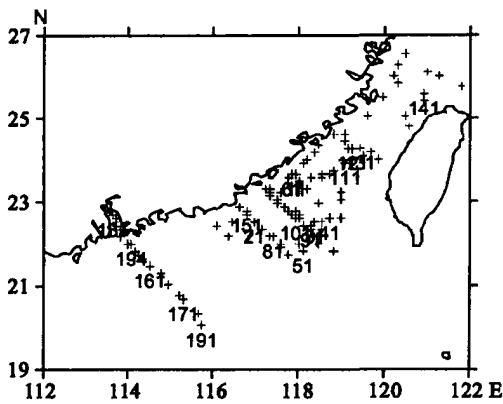


图 4 用于比对的现场站位分布图

Fig. 4 Sampling stations for CTD measurements

果见图 2,3.

观察图 2 我们可以发现,除方框内的区域外,不论是在冬季还是夏季,AVHRR PFSST 均与同一时期走航观测得到的现场水温基本吻合.两者之间的相关系数的平方达 0.68(图 3),通过 0.001 信度检验.经计算,PFSST 数据与走航温度差值的偏差为 0.56,标准方差为 1.15.冬季,走航与遥感温度差值在 ± 0.5 内,而夏季走航与遥感温度差值集中在 $-1 \sim 2$,夏季强烈的太阳辐射是引起此差值较冬季偏大的原因.

由图 2 还可以看到在 1998 年 8 月和 1999 年 8 月,出现走航温度与遥感温度相差异常大的现象(方框

内区域).此三块区域分别位于东山岛附近及台湾浅滩海域,这两处均为上升流活跃区.引起差异的原因,可归结如下:

(1) AVHRR PFSST 空间分辨率为 9 km,表示的是 9 km \times 9 km 面积上的平均温度值,而走航温度所采用的仅为位于此范围内走航航线上的所有点的平均值.在上升流区,由于 SST 水平梯度较大,空间变动较为剧烈,因而与其他地区相比走航温度与遥感温度之间的差异也就特别显著.

(2) 所用的走航温度是一个月中某些天数据的平均值,经分析这些天刚好为上升流强度较大的时期.而所采用的 AVHRR PFSST 资料是月平均数据,这就将上升流的特征抹平,造成遥感 AVHRR PFSST 与走航温度之间较大的差异.

2.2 站位温度和低分辨率 AVHRR PFSST 的比较

图 4 为用于比对的现场站位分布图.参与检验的现场温度资料几乎布满了台湾海峡,并延伸到南海北部海域.

站位温度与遥感温度相关系数平方达 0.82(图 6),似乎二者之间温度值相当一致,但 PFSST 数据与站位温度差值的标准方差高达 1.40,且仔细观察可以发现,实测 CTDSST 与遥感 SST 之间在冬季可以有 ± 2 的差异,远远大于走航 SST 与遥感 SST 之间 ± 0.5 的差异.走航 SST 取 9 km 范围内航线上所有

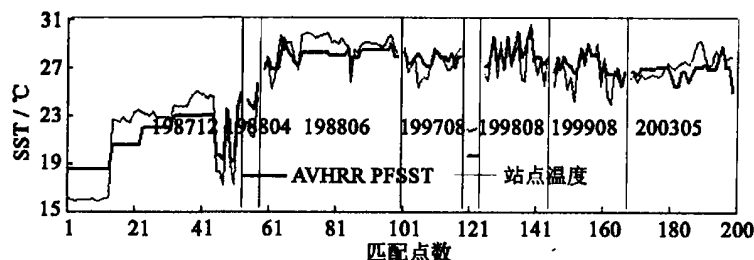


图 5 站位温度与遥感 AVHRR PFSST 的比较

Fig. 5 Comparison between *in situ* SST measured by CTD and AVHRR PFSST

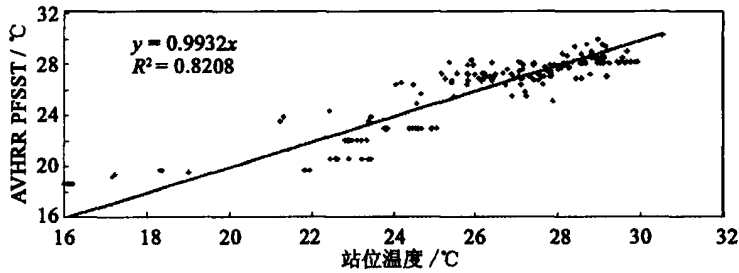


图 6 站位温度与遥感 AVHRR PFSST 的散点分布图

Fig. 6 Scatter diagram of *in situ* SST measured by CTD and AVHRR PFSST

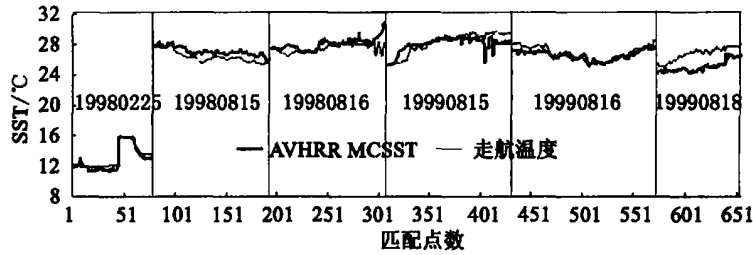


图 7 走航温度与遥感 AVHRR MCSST 的比较

Fig. 7 Comparison between underway mapping SST and AVHRR MCSST

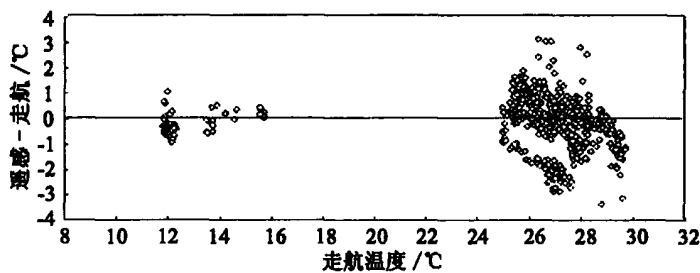


图 8 走航温度与遥感 AVHRR MCSST 差值的散点分布图

Fig. 8 Scatter diagram of the difference between underway mapping SST and AVHRR MCSST

点的平均值,比 CTD 站位单点的数据,与遥感 SST 大面观测的特征吻合程度较高,固然是可能的原因之一,然而比较两组冬季数据可以发现,图 2 所示 1998 年 3 月的走航观测,只局限在约 18~20 的暖水范围内,没有呈现图 5 所示 1987 年 2 月的温度跨度.此温度跨度显示了冬季冷、暖水的交汇.可以说月平均 PFSST 虽然能够反映台湾海峡冬季暖、冷水对峙的温度分布格局,但由于其探测的是表皮信息,受冬季风、辐射影响强烈,会对低温区水温高估,对高温区水温低估,从而导致实际平面上强烈的温度梯度趋缓.

2.3 走航温度与高分辨率 AVHRR MCSST 的比较

图 7 为走航温度与高分辨率 MCSST 数据之间的比较结果.由图可以看出,走航温度值与遥感温度值除在 1999 年 8 月 18 日有一些较大差别外,其余时间几乎完全一致.1999 年 8 月 18 日台湾海峡大部分地区均被云覆盖,所取的匹配点大致位于云的边缘,云的未完全去除使得反演得到的遥感 MCSST 较低.由于走

航温度与 MCSST 时空尺度较为一致(空间 1.1 km 范围内,时间 ± 2 h 范围内),因而在夏季上升流区两者之间并未产生较大的差异.

图 8 为走航温度与相应的遥感 AVHRR MCSST 之间差值的散点分布图.图中大约有 75% 的点落在 ± 1 范围内,是三种比较中结果最好的一个,且冬季走航温度与 MCSST 相差小于夏季,这也与走航温度与 PFSST 的比较结果相一致.经计算,遥感 MCSST 数据与走航温度差值的偏差为 0.11,标准方差为 0.97,此结果与 Li^[8] 在 1998 年利用非线性分裂窗区算法对美国沿岸海域验证时得到的(0.5 \pm 1) 的精度大致相当.一般来说,与全球数据相比,局地(HRPT 与 LAC)数据中所包含的噪音会更多,水平热梯度的存在、现行云探测方法还不能够识别低层的暖云与雾气及每日的升温效应的影响^[9],这都使得 HRPT (LAC) 数据精度相比 GAC 数据偏低.

3 结 论

经初步检验,在台湾海峡及其附近海域,无论是高、低时空分辨率的 AVHRR 的遥感温度均与现场走航及站点观测数据基本保持一致.其中高分辨率遥感 MCSST 其反演精度为 (0.11 ± 0.97) ,与当前利用 NLSST 算法反演 LAC 数据所能达到的水平^[9]相当.值得注意的是,遥感数据与实测数据在绝对值上存在差异,特别是月平均 PFSST,并且随季节、空间位置不同而不同,夏季上升流区最为显著,差值超过 4°C ;冬季跨越暖、冷水区域时出现 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的差异.尽管由于其较低的时空分辨率,月平均 PFSST 在反映强烈的温度梯度时存在不足,趋向于削弱实际的温度锋.但整体来看,AVHRR SST 遥感数据适用于分析台湾海峡及其邻近海域的温度场时间变动趋势及空间变化特征.

致谢:感谢“珠江三角洲及其邻近的南海北部海域中碳的生物地球化学循环研究”项目提供的站位数据,感谢所有为现场数据采集付出艰辛劳动的老师和同学.

参考文献:

- [1] Kilpatrick K A, Podesta G P, Evans R. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(C5): 9179 - 9197.
- [2] 鲍献文,万修全,高郭平,等.渤海、黄海、东海 AVHRR 海表温度场的季节变化特征[J].海洋学报, 2002, 24(5): 125 - 133.
- [3] 高郭平,钱成春,鲍献文,等.中国东部海域卫星遥感 PFSST 和现场观测资料的差异[J].海洋学报, 2001, 23(4): 121 - 126.
- [4] McClain E P, Pichel W G, Walton C C. Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures[J]. Journal of Geophysical Research, 1985, 90(11): 11587 - 11601.
- [5] Chen P Y, Srinivasan R, Fedosejevs G, et al. An automated cloud detection method for daily Noaa-14 AVHRR data for Texas, USA[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(15): 2939 - 2950.
- [6] Simpson J J, Mcintire T J, Stitt J R, et al. Improved cloud detection in AVHRR daytime and night-time scenes over the ocean[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(13): 2585 - 2615.
- [7] Cornillon P, Gilman C, Stramma C L, et al. Processing and analysis of large volumes of satellite-derived thermal infrared data[J]. Journal of Geophysical Research, 1987, 92(12): 12993 - 13002.
- [8] Li X, Pichel W, Clemente-Colon P, et al. Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(7): 1285 - 1303.
- [9] Li X F. Application of nonlinear multi-channel algorithms for estimating sea surface temperature with Noaa-14 AVHRR data[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2000, 18(3): 199 - 207.

A Primary Validation of Remote AVHRR SST in Taiwan Strait and Its Vicinity

LI Na^{1,2}, SUN Feng-qin^{1,2}, ZHANG Cai-yun^{1,2},
SHANG Shao-ling¹, HONG Hua-sheng^{1*}

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science(Xiamen University),

2. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: To estimate the accuracy of remote sensing SST in Taiwan Strait and its vicinity, the high (1.1 km, daily) and low (9 km, monthly) spatial-temporal resolution remote sensing AVHRR SST data are validated with the underway mapping SST and *in-situ* SST measured by CTD. Results of validation show that: both high and low resolution AVHRR SST products are consistent with two kinds of *in-situ* SST data. The accuracy of low resolution AVHRR PFSST is (0.09 ± 1.40) when compared with *in-situ* SST measured by CTD, which is the lowest of three comparison. The accuracy of high resolution AVHRR MCSST derived from local algorithm is (0.11 ± 0.97) . This accuracy is equivalent with that of the SST products derived from LAC data with the NLSST algorithm. In upwelling zone of summer and warm-cold water fronts of winter, there is great difference between the low resolution PFSST and two kinds of *in-situ* SST data. The low resolution PFSST seems to weaken the actual SST fronts when it is used to detect these strong temperature gradient. However in conclusion, remote AVHRR SST data are fit to analyze the temporal and spatial variation of SST in Taiwan Strait and its vicinity.

Key words: Taiwan Strait; AVHRR SST; validation