王晨琦, 李响, 张蕴斐, 等. 3 套不同的 SST 再分析数据与中国近海浮标观测的对比研究[J]. 海洋学报, 2020, 42(3): 118–128, doi:10.3969/j.issn.0253−4193.2020.03.011
Wang Chenqi, Li Xiang, Zhang Yunfei, et al. A comparative study of three SST reanalysis products and buoys data over the China offshore area[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(3): 118–128, doi:10.3969/j.issn.0253−4193.2020.03.011

3 套不同的 SST 再分析数据与中国近海浮标观测的对比研究

王晨琦[1], 李响[1*], 张蕴斐[1], 祖子清[1], 张润宇[2]

(1. 国家海洋环境预报中心 自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室, 北京 100081; 2. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘要: 基于自然资源部浮标数据, 通过分析均值差、均方根误差、相关系数和标准差偏差 4 个统计量, 检验了 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日全时段及该时段内 3 个台风(1808 号台风“玛利亚”、1810 号台风“安比”、1812 号台风“云雀”)过境期间, 3 套海表面温度(Sea Surface Temperature, SST)再分析资料(OISST、OSTIA SST、RTG SST)在中国近海区域的可靠性。对比结果表明, 在全时段内, 3 套 SST 再分析资料都能在一定程度上反映中国近海 SST 的基本状况, 其中 OSTIA SST 资料同浮标实测 SST 数据的均值差为 0.12℃、相关系数为 0.94, 均优于 OISST 资料(均值差为–0.85℃、相关系数为 0.90)和 RTG SST 资料(均值差为–0.17℃、相关系数为 0.86)。通过对比单个浮标数据发现, 相较约 80% 的 MF 浮标实测 SST 数据, OSTIA SST 资料都显著优于 RTG SST 资料和 OISST 资料, 具有较高的可信度。在台风过境期间, 较之 RTG SST 资料和 OISST 资料, OSTIA SST 资料同大部分浮标实测数据的均值差绝对值及均方根误差更小、相关系数更大, 表明在高海况条件下, OSTIA SST 资料能更真实地反映中国近海 SST 的基本状况。

关键词: 中国近海; 浮标数据; SST 再分析资料

中图分类号: P731.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253−4193(2020)03−0118−11

1 引言

海表面温度(Sea Surface Temperature, SST)是海洋热力、动力过程及海洋与大气相互作用的综合结果, 其影响着海气之间的热量、动量和水汽的交换过程[1−2]。SST 是构建天气和气候预测模型的外强迫项, 在大气模式及海气耦合模式中作为边界条件或同化资料, 对天气和气候变化研究都有着重要意义[3−8]。

基于计算机技术、卫星观测和遥感技术的发展, 再分析 SST 资料逐步成为全球海表面温度观测资料的替代品。再分析 SST 资料具有时空分辨率高、时间跨度长、资料获取容易等优点, 在海洋资料分析、海洋数值模拟、气候变化和预测研究等方面具有重要的应用价值[8−12]。然而, 由于受数据同化方法与海洋模式的发展水平, 以及庞大的计算资源需求等方面的限制, 再分析 SST 资料的质量参差不齐[12−13]。

国内外对 SST 再分析资料准确性的验证方面已开展了一些研究, Gentemann 等[14] 基于 1998—2001 年的 TAO/TRITON(Triangle Trans-Ocean Buoy Network)浮标数据对 TMI(TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)Microwave Imager)SST 数据进行验证, 发现 TMI SST 的平均偏差约为 0.07℃, 标准偏差约为

收稿日期: 2019−01−31; **修订日期:** 2019−07−24。
基金项目: 国家重点研发计划(2017YFA0604203); 全球变化与海气相互作用专项(GASI-IPOVAI-06); 国家自然科学基金(41806003)。
作者简介: 王晨琦(1991—), 男, 山西省运城市人, 主要从事海气相互作用研究。E-mail: wangcq@nmefc.cn
*** 通信作者:** 李响(1986—), 男, 江苏省响水县人, 主要从事海气相互作用研究。E-mail: lixiang@nmefc.cn

0.57℃。周为峰和张运刚[15]利用 Argo 浮标的 SST 测量值计算了 MTSAT(Multi-function Transport Satellite)卫星的海温反演误差, 结果显示, 平均绝对误差为 0.73℃, 均方根误差约为 0.89℃。李明等[16]利用 AOML(Atlantic Oceanographical and Meteorological Laboratory)SVP(Surface Velocity Program)漂流浮标的 SST 资料评估了星载微波辐射计 AMSR-E(Advanced Microwave Scanning Radiometer–Earth Observing System)在 30°S 以南的南大洋海域 SST 数据发现, AMSR-E SST 较浮标观测值整体偏低约 0.01℃, 标准差为 0.70℃。其中, 夏季的偏差约为 0.004℃, 标准差约为 0.64℃, 冬季的偏差约为–0.06℃, 标准差约为 0.75℃。Reynolds 和 Chelton[17]则使用浮标数据验证了 6 种 SST 资料(AVHRR-only、AMSR+AVHRR、NCODA、RSS、RTG-HR、OSTIA), 发现不同资料月平均温度偏差大多介于–1.5～2.0℃, 均方根误差介于 0.2～1.1℃。Kachi 等[18–19]基于 GTS(Global Telecommunications System)浮标的 SST 数据对 AMSR-2 SST 数据进行验证, 发现均方根误差为 0.56℃。朱恩泽等[20]利用美国国家浮标数据中心 NDBC 和热带大气海洋计划 TAO 浮标的 SST 数据验证了 Wind Sat 2004—2013 年近 10 年的 SST 产品。结果显示, Wind Sat 反演得到的美国沿岸海域 SST 的平均偏差为 0.10℃, 标准偏差为 0.59℃; 而在近赤道太平洋海域, SST 的平均偏差为–0.15℃, 标准偏差为 0.33℃。

中国近海位于北太平洋西部, 包括渤海、黄海、东海和南海, 是受台风影响较为严重的边缘海之一。据统计, 平均每年约有 7.2 个台风对中国造成明显灾情[21], 由于台风的产生与发展受下垫面 SST 的影响较大[22], 再分析资料中国近海 SST 的准确性对台风路径及强度的预测预报等研究具有重要意义。赵洪臣等[13]选用浮标、志愿观测船舶数据作为验证数据, 以中国近海及其邻近海域为研究区, 对 MODIS Aqua、MODIS Terra、AVHRR-OI、OSTIA 和 RTG 共 5 种 SST 产品进行了基于海表温度偏差统计的质量评价。但该研究没有探讨具体某个时间段抑或台风过境期间, 何种 SST 再分析资料在整体上更接近观测数据。鉴于中国近海 SST 在台风预报中的重要作用, 本文基于自然资源部浮标数据, 检验了 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日全时段及台风过境期间 3 套 SST 再分析资料的表现情况。

2　资料和方法

2.1　浮标 SST 数据

海洋资料浮标是一种用于获取海洋水文、水质、动力、气象、生态等参数的漂浮式自动化监测平台, 是一个涉及电子、通信、控制等多个领域的复杂系统, 具有长期、连续、实时、自动等优点, 是海洋观测技术中最可靠、最有效、最重要的手段之一, 对海洋预报、防灾减灾、海洋经济、国土安全等方面都具有重大意义[23–26]。本文使用的锚系浮标(MF)浮标数据由自然资源部北海分局、东海分局和南海分局接收各管辖区域浮标数据, 再通过 VSAT(Very Small Aperture Terminal)卫星通信系统或专线传输至国家海洋环境预报中心, 并由中心网络部实时推送。传输频次为每小时或每 3 小时传输一次, 有天气状况时加密观测。本文为了研究需要, 将数据处理为日平均。该套海洋浮标观测数据要素包括浪、流、盐度、海表温度等, 数据起始时间为 2003 年。图 1 给出了本文使用的 10 个中国近海 MF 浮标的具体位置。

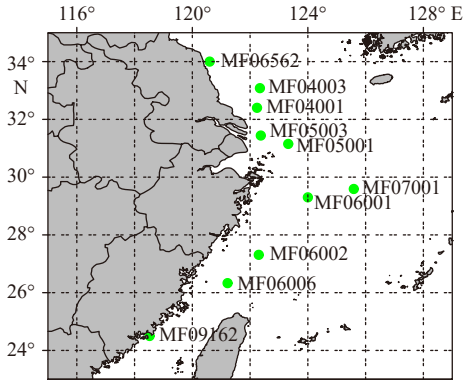


图 1　本文使用的 10 个中国近海 MF 浮标位置示意图

Fig. 1　Locations of 10 MF buoys over the China offshore area

2.2　SST 再分析资料

本文选用 OISST、OSTIA SST 和 RTG SST 再分析资料进行比较。一方面是由于这 3 套 SST 再分析资料是国内外从事海洋预报的业务中心较常使用的数据, 对比这 3 套数据, 对海洋业务预报具有一定的指导意义; 另一方面, 这 3 套数据的空间分辨率相对较高, 减小了对比研究中网格点和浮标位置之间的距离误差, 避免引入由于空间插值带来的误差。

OISST(Optimum Interpolation Sea Surface Temperature)是美国 NOAA 利用卫星、浮标、船测等数据, 在 COADS(Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)资料基础上改进而成[27–28]。其对卫星观测数据进行了严格的质量控制, 并使用最优插值算法(Optimum Interpolation, OI)将浮标、船舶数据插值到遥感反演海温空白区[29], 使得资料的空间覆盖范围、时空分辨率提高。OISST 资料的起始时间为 1981 年, 水平分辨率为 0.25°×0.25°。

OSTIA SST 是英国气象局的日分析资料，其利用变分同化算法融合了多个平台的微波、红外遥感数据及 GTS（Global Telecommunications System）实测数据[30]，并进行了基于 EUMETSAT OSI-SAF（Ocean and Sea Ice Satellite Applications Facility）海冰密集度产品、AATSR（Advanced Along Track Scanning Radiometer）数据和浮标数据的纠正[31−32]，是一种消除了日变化影响的 SST 资料。OSTIA SST 资料的起始时间为 2006 年，水平分辨率为 0.05°×0.05°。

RTG SST 是美国国家环境预报中心 NCEP 通过对船舶浮标数据及 AVHRR（Advanced Very High Resolution Radiometer）卫星数据插值得到的海温日分析资料[33]。该资料的卫星源数据经过了基于实测数据的误差校正[28]，每个格网是基于二维变分插值算法融合浮标与船舶（格网日平均）、海冰和遥感 SST 的结果[13]。RTG SST 资料的起始时间为 2001 年，水平分辨率约为 0.08°×0.08°。

2.3 研究方法

本文使用均值偏差（BIAS）、均方根误差（RMSE）、相关系数（COR）和标准差偏差（SDB）4 个基本的统计量对研究区域的 SST 再分析资料进行评价，上述 4 个统计量的计算公式分别为

$$\mathrm{BIAS}_i = \mu_i - \mu_{obs}, \tag{1}$$

$$\mathrm{RMSE}_i = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}(obs_t - i_t)^2}, \tag{2}$$

$$\mathrm{COR}_i = \frac{\sum_{t=1}^{N}(obs_t - \mu_{obs})(i_t - \mu_i)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N}(obs_t - \mu_{obs})^2}\sqrt{\sum_{t=1}^{N}(i_t - \mu_i)^2}}, \tag{3}$$

$$\mathrm{SDB}_i = \sum_{t=1}^{N}(i_t - \mu_i)^2 - \sum_{t=1}^{N}(obs_t - \mu_{obs})^2, \tag{4}$$

式中，i 分别代表 3 套 SST 再分析资料；obs代表浮标实测 SST 数据；μ为平均值。

3 结果

3.1 3 套 SST 再分析资料对中国近海 SST 的反映能力比较

图 2 给出 2018 年 7 月 1 日至 2018 年 8 月 6 日共 37 天平均的 MF 浮标 SST 实测数据分别同 MF 浮标对应海域的 OSTIA SST 资料（图 2a）、RTG SST 资料（图 2b）、OISST 资料（图 2c）的散点图及相关系数。由图可见，3 种 SST 再分析资料都能在一定程度上反映中国近海 SST 的基本状况。其中，OSTIA SST 资料对 MF 浮标的实测 SST 数据的反映能力较强，二者的相关系数达到 0.94，且 SST 偏差较小，约为 0.12℃。RTG SST 资料的可信度弱于 OSTIA SST 资料，其与 MF 浮标的实测 SST 数据的相关系数仅为 0.86，SST 偏差约为−0.17℃。OISST 资料同 MF 浮标实测 SST 数据的相关系数高于 RTG SST 资料，为 0.90，但存在明显的冷偏差，约为−0.85℃。整体而言，OSTIA SST 资料对 MF 浮标的实测 SST 数据的反映能力均强于 RTG SST 资料和 OISST 资料，具有较高的可信度。

图 3 给出 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日逐日的 MF 浮标实测 SST 数据分别同 OSTIA SST 资料、RTG SST 资料和 OISST 资料的相关系数。在大部分时间内，OSTIA SST 资料同 MF 浮标的实测 SST 数据的相关系数均大于 RTG SST 资料和 OISST 资料。7 月上旬，3 套再分析资料对 MF 浮标的实测 SST 数据反映能力较强，相关系数均在 0.75 以上，通过了 99% 的显

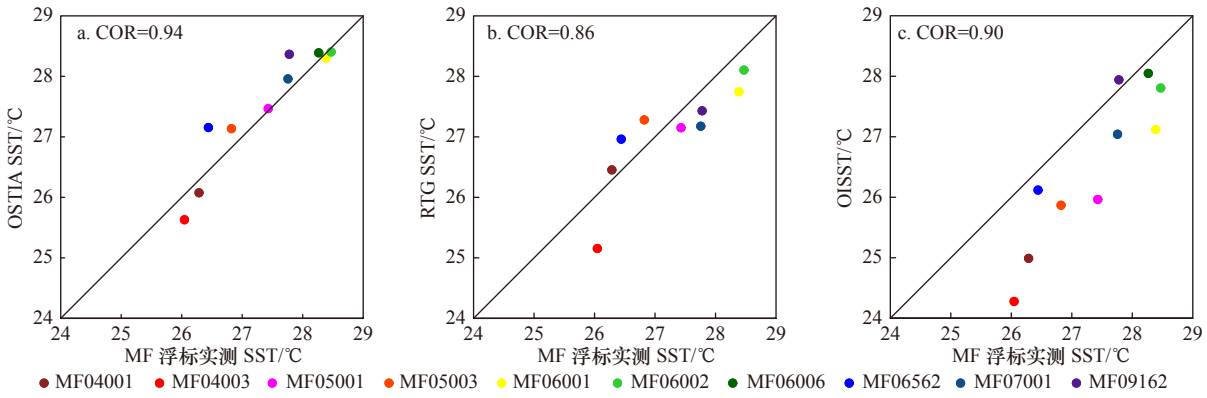


图 2 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日平均的 OSTIA SST 资料（a）、RTG SST 资料（b）、OISST 资料（c）同 MF 浮标 SST 实测数据的散点图及相关系数

Fig. 2 The scatterplots and correlation coefficients between OSTIA SST dataset (a), RTG SST dataset (b), OISST dataset (c) and the MF buoys SST data from July 1, 2018 to August 6, 2018

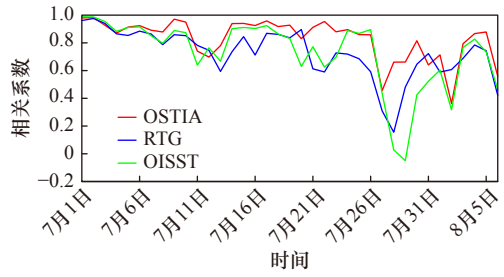


图 3　2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日的 OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料同 MF 浮标实测 SST 数据的相关系数时间序列

Fig. 3　Time series plot of correlation coefficients between OSTIA SST dataset, RTG SST dataset, OISST dataset and the MF buoys SST data from July 1, 2018 to August 6, 2018

著性检验。7 月中旬, 3 套再分析资料同 MF 浮标 SST 实测数据的相关系数都有所减小, 但 OSTIA SST 资料同 MF 浮标 SST 实测数据的相关系数仍保持在较高的水准。7 月下旬, 3 套再分析资料同 MF 浮标 SST 实测数据的相关系数都明显减小, 尤其在 7 月 27–29 日, RTG SST 资料和 OISST 资料同 MF 浮标 SST 实测数据的相关系数均未通过 90% 的显著性检验。值得注意的是, 在 7 月下旬, OSTIA SST 资料对 MF 浮标的实测 SST 数据反映能力明显强于其余两套再分析资料。8 月上旬, OSTIA SST 资料对 MF 浮标的实测 SST 数据反映能力略强于其余两套再分析资料。

为了进一步探究 3 套 SST 再分析资料对中国近海 SST 的反映能力, 图 4 给出了 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日逐日的 MF 浮标实测 SST 数据及 3 套 SST 再分析资料的时间序列。对应统计特征表(表 1)可见, 3 套 SST 再分析资料同 MF 浮标实测 SST 数据都基本吻合, 对中国近海的 SST 都具有一定的反映能力。其中, 除浮标 MF06562 和浮标 MF09162 外, OSTIA SST 资料同其他 MF 浮标实测数据的 SST 偏差及均方根误差都相对较小; 除浮标 MF09162 外, OSTIA SST 资料同其他 MF 浮标实测 SST 数据的相关系数均大于 OISST 资料和 RTG SST 资料; 除浮标 MF05003、浮标 MF06001 和浮标 MF06006 外, OSTIA SST 资料同其他 MF 浮标实测 SST 数据的标准差偏差均小于 OISST 资料和 RTG SST 资料。以上分析表明, 整体而言, 相较约 80% 的 MF 浮标实测 SST 数据(除浮标 MF06562 和浮标 MF09162 外), OSTIA SST 资料都显著优于 RTG SST 资料和 OISST 资料, 具有较高的可信度。

3.2　3 套 SST 再分析资料对台风过境期间 SST 的重现能力比较

2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日期间, 过境中国近海海域的台风个例为 1808 号台风“玛利亚”、1810 号台风“安比”、1812 号台风“云雀”。图 5 分别给出上述 3 个台风个例的最优路径, 2018 年 7 月 11 日 00 时, 台风“玛利亚”的中心位于 25.5°N, 123.4°E 的洋面上, 中心最低气压 945 hPa, 11 日 09 时, 台风“玛利亚”登陆福建省连江县黄岐半岛沿海(图 5a)。2018 年 7 月 21 日 14 时, 台风“安比”的中心位于 27.3°N, 127.1°E 的洋面上, 中心最低气压 985 hPa, 22 日 12 时, 台风“安比”的中心在上海市崇明岛沿海登陆(图 5b)。2018 年 8 月 1 日 16 时, 台风“云雀”的中心位于 29.7°N, 126.9°E 的洋面上, 中心最低气压 990 hPa, 3 日 09 时, 台风“云雀”在沪浙的金山和平湖交界处登陆(图 5c)。

由图 5 可见, 浮标 MF06002 和浮标 MF06006 位于 1808 号台风“玛利亚”路径附近的海域, 而浮标 MF05001、MF05003、MF06001 和 MF07001 均位于 1810 号台风“安比”及 1812 号台风“云雀”路径附近的海域。为了探究 3 套 SST 再分析资料对台风过境期间 SST 的反映能力, 图 6 给出 1808 号台风过境期间(2018 年 7 月 9–15 日)3 套 SST 再分析资料和 MF 浮标数据的 SST 柱状图。由图可见, 除浮标 MF06006 的 SST 值于 7 月 12 日有明显升高外, 在台风过境期间, SST 呈现先减小后增大的整体趋势, 且降温速度较增温速度更快。7 月 11 日, 浮标 MF06002 和浮标 MF06006 的实测 SST 值都降至最低温度, 分别为 26.27℃ 和 26.70℃。由图 5a 可见, 浮标 MF06006 位于台风移动路径上, 浮标 MF06002 位于台风移动路径的右侧。由于台风路径右侧主导风应力的强迫作用, 强风夹卷使得台风路径右侧的垂直混合更强, 造成台风路径右侧大概率出现最大的 SST 降低[34–35]。

根据统计分析(表 2), OSTIA SST 资料同浮标 MF06002 及浮标 MF06006 的均值差分别为 0.25℃ 和 0.22℃, 而 RTG SST 资料和 OISST 资料则存在明显的冷偏差。另一方面, OSTIA SST 资料同浮标 MF06002 及浮标 MF06006 的相关系数分别为 0.90、0.85, 均方根误差分别为 0.34℃、0.29℃, 都明显优于其余两套 SST 再分析资料。在海温的恢复阶段, OSTIA SST 资料较好地反映了 SST 的回温过程, 而 RTG SST 资料和 OISST 资料迟迟未能使 SST 恢复到正常状态。

图 7 给出 1810 号台风过境期间(2018 年 7 月 20–26 日)3 套 SST 再分析资料和 MF 浮标数据的 SST 柱状图。由图可见, 浮标实测数据显示, 台风过境期间, SST 呈现先减小后增大的整体趋势, 其中浮标 MF05003 降温幅度最大, 一度于 7 月 22 日降温至

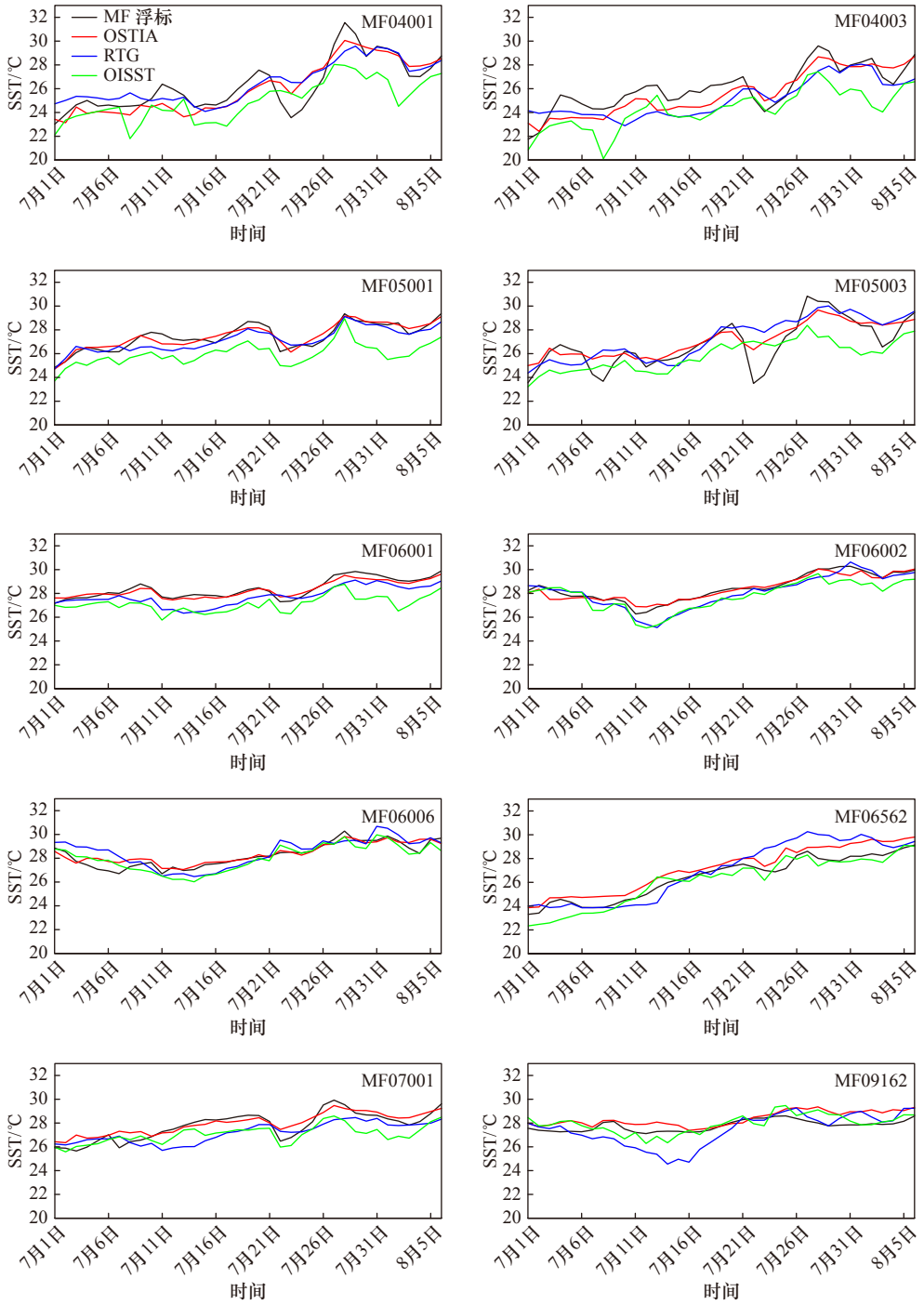


图 4 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日的 MF 浮标 SST 实测数据、OSTIA SST 资料、RTG SST 资料及 OISST 资料的时间序列

Fig. 4 Time series plots of the MF buoys SST data, OSTIA SST dataset, RTG SST dataset and OISST dataset from July 1, 2018 to August 6, 2018

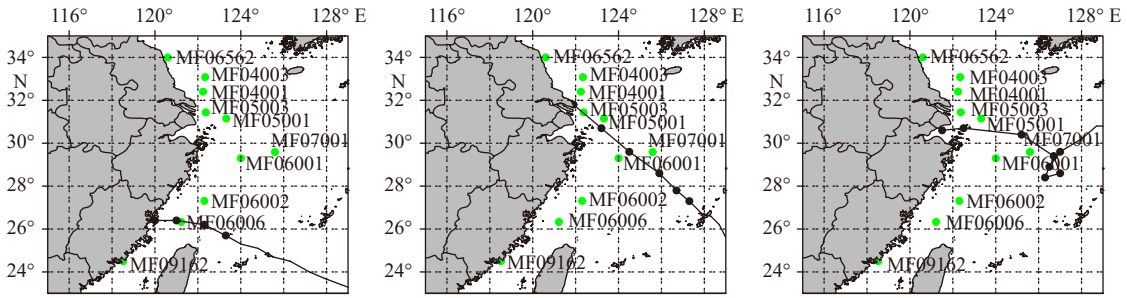
23.48℃。台风过境后 SST 的回温速度较 SST 降低速度慢。3 套 SST 再分析资料都能在一定程度上反映台风过境期间 SST 的变化情况，但值得注意的是，较浮标 MF05003，3 套 SST 再分析资料在 7 月 22−24 日存在明显暖偏差，可能由于在高海况下海表大风、大浪、强降雨及海面白沫等不利的观测环境的影响，卫星、浮标、船测等观测数据较少甚至缺失[36−37]，导致再分析资料的背景场凸显，进而造成高海况下再分析 SST 的变化幅度较真实情况小。根据统计分析（表 3），OSTIA SST 资料同 4 个浮标实测数据的均方根误差分别为 0.53℃、1.64℃、0.26℃、0.64℃，均优于其余两套再分析资料。除浮标 MF05001 所处位置海域外，OSTIA SST 资料同浮标 MF05003 和 MF06001 实测数据的相关系数分别为 0.83 和 0.99，显著优于其

表 1　2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日的 OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料分别同 MF 浮标 SST 实测数据的均值差、均方根误差、相关系数及标准差偏差

Table 1　The mean bias, root mean square error, correlation coefficient and standard deviation bias between OSTIA SST dataset, RTG SST dataset, OISST dataset and the MF buoys SST data from July 1, 2018 to August 6, 2018

	MF04001			MF04003			MF05001			MF05003			MF06001		
	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST
均值差/℃	−0.21	0.17	−1.30	−0.42	−0.89	−1.77	0.04	−0.28	−1.46	0.33	0.47	−0.94	−0.08	−0.64	−1.26
均方根误差/℃	1.03	1.11	1.81	0.99	1.47	2.00	0.39	0.56	1.58	1.04	1.39	1.68	0.26	0.79	1.38
相关系数	0.89	0.86	0.80	0.88	0.76	0.85	0.93	0.89	0.83	0.87	0.75	0.69	0.96	0.83	0.75
标准差偏差/℃	0.02	−0.46	−0.46	0.09	−0.24	−0.14	−0.06	−0.13	−0.17	−0.56	−0.15	−0.65	−0.15	−0.02	−0.15

	MF06002			MF06006			MF06562			MF07001			MF09162		
	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST
均值差/℃	−0.07	−0.37	−0.67	0.12	0.23	−0.22	0.70	0.51	−0.33	0.20	−0.58	−0.71	0.59	−0.35	0.16
均方根误差/℃	0.31	0.61	0.83	0.41	1.09	0.65	0.79	1.08	0.66	0.55	0.99	0.94	0.72	1.090	0.59
相关系数	0.96	0.95	0.91	0.92	0.78	0.87	0.98	0.95	0.96	0.92	0.72	0.88	0.72	0.76	0.69
标准差偏差/℃	−0.09	0.28	0.10	−0.18	0.19	0.10	0.10	0.66	0.24	−0.31	−0.33	−0.42	0.15	0.89	0.32



a. 1808 号台风“玛利亚”　b. 1810 号台风“安比”　c. 1812 号台风“云雀”

图 5　2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日期间, 经过 MF 浮标所处位置附近海域的 3 个台风个例示意图

Fig. 5　Three cases of typhoon which passed by the surrounding locations of MF buoys during July 1, 2018 to August 6, 2018

余两套再分析资料, 且均超过了 99% 的显著性检验, 具有较高的可信度。

图 8 给出 1812 号台风过境期间(2018 年 7 月 31 日至 8 月 6 日)3 套 SST 再分析资料和 MF 浮标数据的 SST 柱状图。由图可见, OISST 资料存在明显的冷偏差, 而 OSTIA SST 资料及 RTG SST 资料能较好地反映台风过境期间 SST 的基本情况。根据统计分析(表 4), OSTIA SST 资料同 4 个浮标实测 SST 数据的均方根误差分别为 0.27℃、0.92℃、0.23℃、0.39℃, 均显著优于其余两套再分析资料。另一方面, OSTIA SST 资料同 4 个浮标实测数据的相关系数分别为 0.95、0.92、0.93、0.92, 显著优于其余两套再分析资料, 且均超过了 99% 的显著性检验。以上分析表明, 较之 RTG SST 资料和 OISST 资料, OSTIA SST 资料能较好地反映 1808 号台风“玛利亚”、1810 号台风“安比”及 1812 号台风“云雀”过境期间 SST 的基本状况, 具有较高的可信度。

4　结论

本文基于自然资源部浮标数据, 通过分析均值差、均方根误差、相关系数和标准差偏差 4 个统计量, 对比检验了 2018 年 7 月 1 日至 8 月 6 日全时段及台风过境期间 3 套 SST 再分析资料在中国近海区域的可靠性, 得到的主要结论如下:

(1)3 套 SST 再分析资料对中国近海 SST 都具有一定的重现能力。全时段平均而言, OSTIA SST 资料同浮标实测 SST 数据的均值差为 0.12℃、相关系数为 0.94, 均优于 OISST 资料(均值差为−0.85℃、相关系数为 0.90)和 RTG SST 资料(均值差为−0.17℃、相关系数为 0.86)。逐日而言, 在大部分时间内, OSTIA

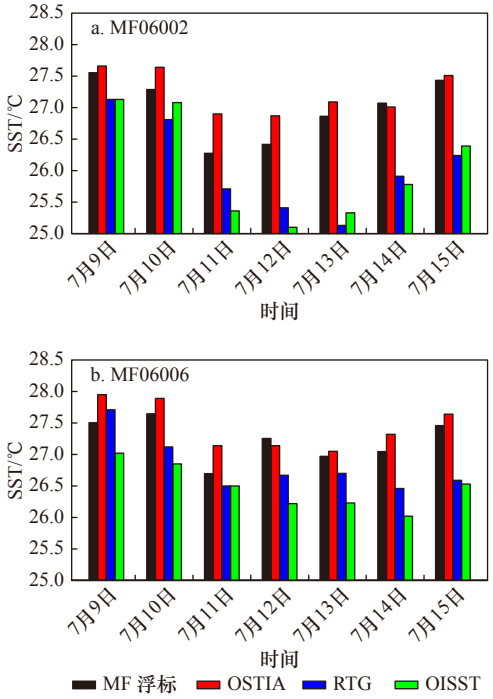


图 6 1808 号台风期间, OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料及浮标 MF06002(a)和浮标 MF06006(b)的 SST 值柱状图

Fig. 6 The bar charts of OSTIA SST dataset, RTG SST dataset and OISST dataset with the buoy MF06002 (a), buoy MF06006 (b) during the Typhoon 1808 period

表 2 1808 号台风期间, OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料分别同浮标 MF06002 及浮标 MF06006 的 SST 实测数据的均值差、均方根误差、相关系数及标准差偏差

Table 2 The mean bias, root mean square error, correlation coefficient and standard deviation bias between OSTIA SST dataset, RTG SST dataset, OISST dataset and the SST measurement data of buoy MF06002 and buoy MF06006 during the Typhoon 1808 period

	MF06002			MF06006		
	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST
均值差/℃	0.25	−0.94	−0.96	0.22	−0.40	−0.74
均方根误差/℃	0.34	1.04	1.06	0.29	0.52	0.80
相关系数	0.90	0.76	0.86	0.85	0.64	0.61
标准差偏差/℃	−0.14	0.23	0.35	0.04	0.11	0.02

SST 资料同 MF 浮标的实测 SST 数据的相关系数均大于 RTG SST 资料和 OISST 资料。

(2)具体到单个浮标分析, 相较约 80% 的 MF 浮标实测 SST 数据(除浮标 MF06562 和浮标 MF09162 外), OSTIA SST 资料的 SST 偏差、标准差偏差及均方根误差都相对较小, 相关系数都相对较大, 优于

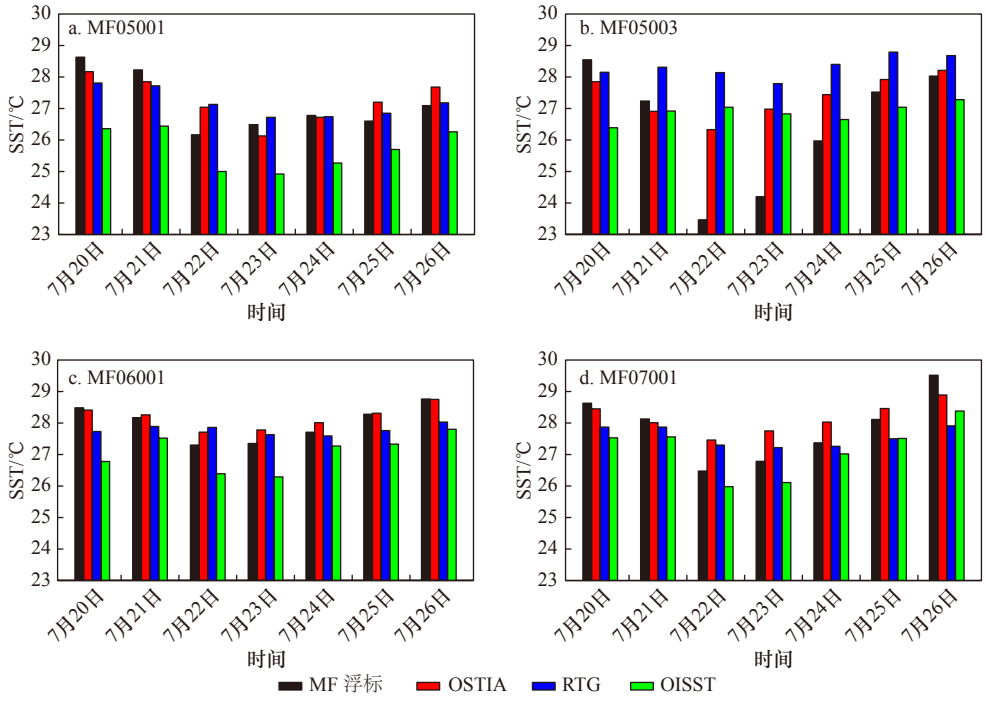


图 7 1810 号台风期间, OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料及浮标 MF05001(a)、浮标 MF05003(b)、浮标 MF06001(c)、浮标 MF07001(d)的 SST 值柱状图

Fig. 7 The bar charts of OSTIA SST dataset, RTG SST dataset and OISST dataset with the buoy MF05001 (a), buoy MF05003 (b), buoy MF06001 (c) and buoy MF07001 (d) during the Typhoon 1810 period

表 3　1810 号台风期间，OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料分别同浮标 MF05001、浮标 MF05003、浮标 MF06001 及浮标 MF07001 的 SST 实测数据的均值差、均方根误差、相关系数及标准差偏差

Table 3　The mean bias, root mean square error, correlation coefficient and standard deviation bias between OSTIA SST dataset, RTG SST dataset, OISST dataset and the SST measurement data of buoy MF05001, MF05003, MF06001 and MF07001 during the Typhoon 1810 period

	MF05001			MF05003			MF06001			MF07001		
	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST
均值差/℃	0.12	0.02	−1.43	0.95	1.90	0.45	0.17	−0.22	−0.95	0.29	−0.30	−0.70
均方根误差/℃	0.53	0.53	1.51	1.64	2.51	1.92	0.26	0.52	1.02	0.64	0.80	0.76
相关系数	0.80	0.88	0.85	0.83	0.60	−0.13	0.99	0.53	0.76	0.95	0.88	0.97
标准差偏差/℃	−0.23	−0.48	−0.27	−1.28	−1.61	−1.66	−0.20	−0.41	0.01	−0.58	−0.75	−0.21

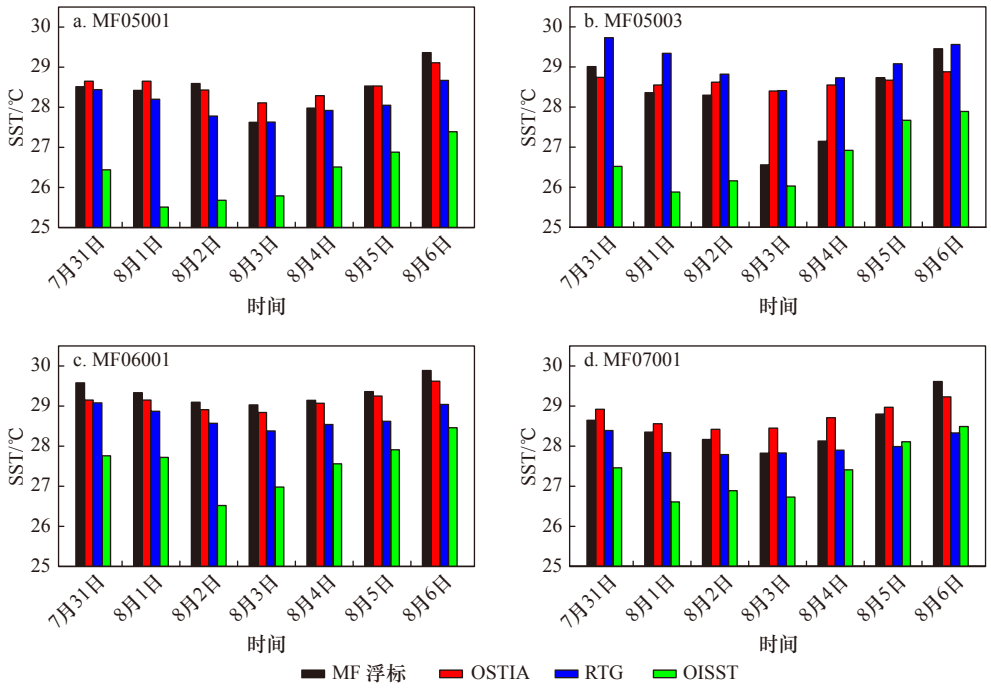


图 8　1812 号台风期间, 浮标 MF05001(a)、浮标 MF05003(b)、浮标 MF06001(c)、浮标 MF07001(d)及 OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料的 SST 值柱状图

Fig. 8　The bar charts of OSTIA SST datase, RTG SST dataset and OISST dataset with the buoy MF05001 (a), buoy MF05003 (b), MF06001 (c) and buoy MF07001 (d) during the Typhoon 1812 period

表 4　1812 号台风期间，OSTIA SST 资料、RTG SST 资料、OISST 资料分别同浮标 MF05001、浮标 MF05003、浮标 MF06001 及浮标 MF07001 的 SST 实测数据的均值差、均方根误差、相关系数及标准差偏差

Table 4　The mean bias, root mean square error, correlation coefficient and standard deviation bias between OSTIA SST dataset, RTG SST dataset, OISST dataset and the SST measurement data of buoy MF05001, MF05003, MF06001 and MF07001 during the Typhoon 1812 period

	MF05001			MF05003			MF06001			MF07001		
	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST	OSTIA	RTG	OISST
均值差/℃	0.11	−0.33	−2.12	0.40	0.87	−1.50	−0.21	−0.61	−1.78	0.25	−0.49	−1.12
均方根误差/℃	0.27	0.45	2.18	0.92	1.06	1.73	0.23	0.63	1.83	0.39	0.63	1.17
相关系数	0.95	0.81	0.58	0.92	0.89	0.51	0.93	0.89	0.85	0.92	0.76	0.87
标准差偏差/℃	−0.22	−0.18	0.15	−0.88	−0.56	−0.23	−0.05	−0.03	0.33	−0.29	−0.34	0.12

RTG SST 资料和 OISST 资料。

（3）分别取 1808 号台风“玛利亚”、1810 号台风“安比”、1812 号台风“云雀”过境时段分析，综合而言，OSTIA SST 资料能更真实地反映台风过境期间 SST 先降低后升高的变化趋势，且海温偏差、均方根误差、相关系数等统计量均优于其余两套再分析资料，表明在高影响事件条件下，OSTIA SST 资料相较于其他两套 SST 再分析资料具有更高的可信度。

参考文献：

[1] 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.
Bao Xianwen, Wan Xiuquan, Gao Guoping, et al. The characteristics of the seasonal variability of the sea surface temperature field in the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea from AVHRR data[J]. Haiyang Xuebao, 2002, 24(5): 125−133.

[2] Curry J A, Bentamy A, Bourassa M A, et al. Seaflux[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004, 85(3): 409−424.

[3] Fischer M, Latif M, Flügel M, et al. The impact of data assimilation on ENSO simulations and predictions[J]. Monthly Weather Review, 1995, 125(5): 819−830.

[4] Behringer D W, Ji Ming, Leetmaa A. An improved coupled model for ENSO prediction and implications for ocean initialization. Part I: the ocean data assimilation system[J]. Monthly Weather Review, 1998, 126(4): 1013−1021.

[5] Ji Ming, Behringer D W, Leetmaa A. An improved coupled model for ENSO prediction and implications for ocean initialization. Part Ⅱ: the coupled model[J]. Monthly Weather Review, 1998, 126(4): 1022−1034.

[6] Sutton R T, Hodson D L R. Influence of the ocean on North Atlantic climate variability 1871−1999[J]. Journal of Climate, 2003, 16(20): 3296−3313.

[7] 宝乐尔其木格, 任国玉. 海温观测方法及常用海温资料数据集比较[J]. 气象科技进展, 2013, 3(6): 52−57.
Baoleerqimuge, Ren Guoyu. Sea surface temperature observation methods and comparison of commonly used sea surface temperature datasets[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2013, 3(6): 52−57.

[8] 王世红, 赵一丁, 尹训强, 等. 全球海洋再分析产品的研究现状[J]. 地球科学进展, 2018, 33(8): 794−807.
Wang Shihong, Zhao Yiding, Yin Xunqiang, et al. Current status of global ocean reanalysis datasets[J]. Advances in Earth Science, 2018, 33(8): 794−807.

[9] 乔方利, Zhang Shaoqing. 现代海洋/大气资料同化方法的统一性及其应用进展[J]. 海洋科学进展, 2002, 20(4): 79−93.
Qiao Fangli, Zhang Shaoqing. The unification and application reviews of modern oceanic/atmospheric data assimilation algorithms[J]. Advances in Marine Science, 2002, 20(4): 79−93.

[10] Hurlburt H E, Brassington G B, Drillet Y, et al. High-resolution global and basin-scale ocean analyses and forecasts[J]. Oceanography, 2009, 22(3): 110−127.

[11] Guinehut S, Dhomps A L, Larnicol G, et al. High resolution 3-D temperature and salinity fields derived from in situ and satellite observations[J]. Ocean Science, 2012, 8(5): 845−857.

[12] 蒋兴伟, 奚萌, 宋清涛. 六种遥感海表温度产品的比对分析[J]. 海洋学报, 2013, 35(4): 88−97.
Jiang Xingwei, Xi Meng, Song Qingtao. A comparison analysis of six sea surface temperature products[J]. Haiyang Xuebao, 2013, 35(4): 88−97.

[13] 赵洪臣, 刘永学, 周兴华, 等. 基于志愿观测船舶和浮标数据的SST日产品质量评价研究[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(4): 462−473.
Zhao Hongchen, Liu Yongxue, Zhou Xinghua, et al. Quality evaluation of SST daily products based on VOS and buoy measurements[J]. Advances in Marine Science, 2016, 34(4): 462−473.

[14] Gentemann C L, Wentz F J, Mears C A, et al. In situ validation of tropical rainfall measuring mission microwave sea surface temperatures[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2004, 109(C4): C04021.

[15] 周为峰, 张运刚. 基于ARGO资料的MTSAT海温产品误差分析[J]. 海洋湖沼通报, 2008(4): 1−6.
Zhou Weifeng, Zhang Yungang. Error characteristics analysis of sea surface temperatures retrieved from MTSAT satellite using ARGO data[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008(4): 1−6.

[16] 李明, 刘骥平, 张占海, 等. 利用南大洋漂流浮标数据评估AMSR-E SST[J]. 海洋学报, 2010, 32(6): 47−55.
Li Ming, Liu Jiping, Zhang Zhanhai, et al. Evaluation of AMSR-E SST in the Southern Ocean using drifting buoy data[J]. Haiyang Xuebao, 2010, 32(6): 47−55.

[17] Reynolds R W, Chelton D B. Comparisons of daily sea surface temperature analyses for 2007-08[J]. Journal of Climate, 2010, 23(13): 3545−3562.

[18] Kachi M, Naoki K, Hori M, et al. AMSR2 validation results[C]//2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. VIC, Australia: IEEE, 2014.

[19] Kachi M, Shibata A, Murakami H, et al. Japanese GHRSST activities and the AMSR2 SST Validations[C]//EGU General Assembly Conference. Vienna, Austria: EGU, 2014.

[20] 朱恩泽, 张雷, 石汉青, 等. 2004年—2013年WindSat海表面温度产品与浮标观测对比[J]. 遥感学报, 2016, 20(2): 315−327.
Zhu Enze, Zhang Lei, Shi Hanqing, et al. Accuracy of WindSat sea surface temperature: Comparison of buoy data from 2004 to 2013[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(2): 315−327.

[21] 雷小途, 陈佩燕, 杨玉华, 等. 中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法[J]. 气象学报, 2009, 67(5): 875−883.
Lei Xiaotu, Chen Peiyan, Yang Yuhua, et al. Characters and objective assessment of disasters caused by typhoons in China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2009, 67(5): 875−883.
[22] Holland G J. The maximum potential intensity of tropical cyclones[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1997, 54(21): 2519−2541.
[23] 蔡树群, 张文静, 王盛安. 海洋环境观测技术研究进展[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(3): 76−81.
Cai Shuqun, Zhang Wenjing, Wang Sheng'an. An advance in marine environment observation technology[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(3): 76−81.
[24] 王军成. 海洋资料浮标原理与工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
Wang Juncheng. Principle and Project of the Oceanic Data Buoy[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013.
[25] 王波, 李民, 刘世萱, 等. 海洋资料浮标观测技术应用现状及发展趋势[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(11): 2401−2414.
Wang Bo, Li Min, Liu Shixuan, et al. Current status and trend of ocean data buoy observation technology applications[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(11): 2401−2414.
[26] Wang Juncheng, Wang Zhongqiu, Wang Yiming, et al. Current situation and trend of marine data buoy and monitoring network technology of China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 35(2): 1−10.
[27] Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. An improved in situ and satellite SST analysis for climate[J]. Journal of Climate, 2002, 15(13): 1609−1625.
[28] Reynolds R W, Smith T M, Liu Chunying, et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. Journal of Climate, 2007, 20(22): 5473−5496.
[29] Kilpatrick K A, Podestá G, Walsh S, et al. A decade of sea surface temperature from MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 165: 27−41.
[30] Donlon C J, Martin M, Stark J, et al. The operational sea surface temperature and sea ice analysis (OSTIA) system[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 116: 140−158.
[31] Breivik L A, Eastwood S, Gødoy Ø, et al. Sea ice products for EUMETSAT satellite application facility[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2001, 27(5): 403−410.
[32] Andersen S, Breivik L, Eastwood S, et al. Ocean & sea ice SAF-sea ice product manual version3.8[M/OL].[2015−11−09]. http://saf.met.no/docs/ss2_pmseaice_v3p5.pdf.
[33] Chelton D B, Wentz F J. Global microwave satellite observations of sea surface temperature for numerical weather prediction and climate research[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86(8): 1097−1116.
[34] Black P G. Ocean temperature changes induced by tropical cyclones[D]. Old Main, University Park, PA, USA: The Pennsylvania State University, 1983.
[35] Wada A. Numerical simulations of sea surface cooling by a mixed layer model during the passage of typhoon Rex[J]. Journal of Oceanography, 2005, 61(1): 41−57.
[36] 罗曼. 高海况下卫星雷达高度计参数反演的影响因素分析研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
Luo Man. Analysis of influencing factors on the parameters of the satellite radar altimeter in high sea condition[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016.
[37] 杨乐. 卫星雷达高度计在中国近海及高海况下遥感反演算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
Yang Le. Study on satellite radar altimeter retrieval algorithms over coastal seas and under high sea state events[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.

A comparative study of three SST reanalysis products and buoys data over the China offshore area

Wang Chenqi[1], Li Xiang[1], Zhang Yunfei[1], Zu Ziqing[1], Zhang Runyu[2]

(1. *Key Laboratory of Marine Hazards Forecasting*, *Ministry of Natural Resources*, *National Marine Environmental Forecasting Center*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *National Marine Environmental Forecasting Center*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Based on the buoys data over the China offshore area during July 1, 2018 to August 6, 2018 collected by the Ministry of Natural Resources, three SST reanalysis products (OISST, OSTIA SST, RTG SST) were validated and compared through analyzing the mean bias, root mean square error (RMSE), correlation coefficient and standard deviation bias. The comparison results show that in the whole time, three SST reanalysis products we used are

comparable to the buoys data. The mean bias and correlation coefficient between OSTIA SST dataset and buoy SST data is 0.12℃ and 0.94, better than OISST dataset (−0.85℃, 0.90) and RTG SST dataset (−0.17℃, 0.86). Compared with 80% buoys, the reliability of OSTIA SST dataset is higher than OISST dataset and RTG SST dataset significantly. During typhoon transit periods, absolute values of mean bias and RMSE (correlation coefficient) between OSTIA SST dataset and buoy SST data are smaller (larger) than RTG SST dataset and OISST dataset, which means that OSTIA SST dataset can capture the basic characteristics of SST over the China offshore area more accurately in severe sea conditions.

Key words: China offshore area**;** buoy data**;** SST reanalysis products