

黑潮延伸体海域漂流式海气界面浮标数据 分析与评估*

邢霄波^{1,2} 王 斌^{1,2} 陈朝晖³

(1. 国家海洋技术中心 天津 300112; 2. 自然资源部海洋观测技术重点实验室 天津 300112; 3. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室 山东青岛 266100)

摘要 漂流式海气界面浮标是创新研制的“小型化、轻质化、免维护”的漂流观测系统,能够测量海面以上 3 m 气象、水下 20 cm 海表面温度和波浪参数等 11 个不同的物理参数,并且已经经过多次观测应用,结果均较好。为实现漂流式海气界面浮标观测数据全球范围的应用,利用 2018 年黑潮延伸体海域 Argo 观测的海表面温度(sea surface temperature, SST)、SVP (surface velocity program)浮标观测的海表面温度和 OISST (optimum interpolation sea surface temperature)数据,通过将其与漂流式海气界面浮标观测数据进行时空匹配以及对比验证,对漂流式海气界面浮标观测的海表面温度进行了系统评估,检验其在黑潮延伸体复杂水文环境下的观测准确性。结果表明,漂流式海气界面浮标观测 SST 数据与 Argo 观测 SST 数据相关系数达到 0.973 7,均方根误差和平均误差分别为 0.579 0 °C 和 0.453 9 °C;与 SVP 浮标 SST 数据的相关系数弱于与 Argo 的相关系数,为 0.928 5,均方根误差为 1.323 0 °C,平均误差约为 0.979 4 °C;与 OISST 数据的相关系数为 0.982 3,均方根误差为 0.798 8 °C,平均误差为 0.743 4 °C。漂流式海气界面浮标观测 SST 数据与 Argo、SVP 和 OISST 海表面温度数据都具有很好的一致性,观测数据质量处于同一水平。综上,漂流式海气界面浮标作为一种新的观测手段,具备了准确观测 SST 的能力。

关键词 黑潮延伸体;漂流浮标;海表面温度;评估

中图分类号 P 715 doi: 10.11693/hyhz20220900228

漂流式海气界面浮标(drifting air-sea interface buoy, DrIB)是自然资源部所属国家海洋技术中心基于“低成本、网格化、全球化”的海气界面观测新理念,创新研制的“小型化、轻质化、免维护”的漂流观测系统(Centurioni *et al.*, 2019), DrIB 能够测量海面以上 3 m 的气温、气压、风向、风速、相对湿度以及海表面温度(水下 20 cm)和波浪参数等 11 个不同的物理参数(陈祚琛等, 2021; 党超群等, 2022)。

近年来,漂流式海气界面浮标完成了多次中尺度涡高时空分辨率组网观测,具备了对(亚)中尺度过程观测能力;完成了超级台风“山竹”环境下的观测

应用,全面验证了浮标在 12 级海况、140 km/h 风速下的准确观测能力;完成了中国第 35、36、37 次南极考察在西风带海域的断面组网应用,突破了浮标在极地复杂恶劣海洋环境下的面组网应用。此外,漂流式海气界面浮标先后两次完成了与国际标准锚系 KEO (Kuroshio extension observatory)浮标的现场比测,观测数据达到国际先进水平。为实现漂流式海气界面浮标观测数据全球范围的应用,对观测数据可靠性进行评估分析是必不可少的。

海表面温度(sea surface temperature, SST)是海洋热力和动力过程以及海气相互作用的综合结果,直

* 自然资源部海洋环境信息保障技术重点实验室开放基金课题;江苏省海洋科技创新项目,JSZRHYKJ202009 号。邢霄波,研究实习员,硕士, E-mail: 15632779253@163.com

通信作者: 王 斌,高级工程师,博士, E-mail: note_bwang@163.com

收稿日期: 2022-09-05, 收修改稿日期: 2022-10-08

影响着海洋和大气之间的热量、动量和水汽(李明等, 2008, 2010)。SST 不仅是构建天气和气候预测的外强迫项, 在海气耦合模式中是边界条件和同化资料, 也为海洋环流、水团、海洋锋、上升流、海水混合等海洋课题的研究提供了一种直观的指示物理参量, 对气候变化的预测和研究也都有重要的意义, 因此首先对漂流式海气界面浮标观测 SST 数据可靠性和准确性进行验证(李明等, 2010; 王晨琦等, 2020)。

黑潮是世界海洋中第二大暖流, 发源于北赤道, 其中一支流先向北, 在吐噶喇海峡处(30°N)与亲潮汇合转向东流, 形成黑潮延伸体(30°~40°N, 140°~180°E)。黑潮延伸体作为黑潮的续流, 仍具有黑潮的高温高盐的特征, 相比黑潮, 黑潮延伸体失去了太平洋海岸陆地的约束并且受到海底地形的影响, 该海域的海气相互作用更为复杂。此外, 黑潮延伸体海域是中纬度海气相互作用的关键区域, 其海表温度对东海垂直分布有非常重要的影响, 所以该海域海表面温度数据的准确性和精确性就尤为重要(张笑等, 2013; 邢霄波等, 2021)。

本文选取全球广泛应用的 Argo (array for real-time geostrophic oceanography)浮标观测 SST、SVP (surface velocity program)浮标观测 SST 和 OISST (optimum interpolation sea surface temperature)数据, 其中 Argo 浮标观测 SST 数据精度较高, SVP 浮标观测 SST 数据时间间隔为 1 h, OISST 数据空间分辨率较高, 鉴于此, 利用上述数据对 2018 年黑潮延伸体海域 DrIB 这一新观测手段观测的海表面温度进行较为系统的评估。

1 数据

1.1 漂流式海气界面浮标数据

DrIB 是自然资源部所属国家海洋技术中心基于“低成本、网格化、全球化”的海气界面观测新理念, 创新研制的“小型化、轻质化、免维护”的漂流观测系统(Centurioni *et al.*, 2019), DrIB 能够测量海面以上 3 m 的气温、气压、风向、风速、相对湿度以及海表面温度(水下 20 cm)和波浪参数等 11 个不同的物理参数, 结构如图 1 所示(陈祚琛等, 2021; Xie *et al.*, 2022; 党超群等, 2022)。本文选取的海表面温度数据是 2018 年黑潮延伸体海域布放的漂流式海气界面浮标观测的 SST 数据。由于浮标布放时间的关系, 2018 年 DrIB 观测 SST 数据具体时间为: 2018 年 5 月 10 日~11 月 25 日。SST 数据的时间间隔为 1 h, 观测精度 ± 0.01 °C,

纬度范围为 30°~40°N, 经度范围是 140°~155°E, 如图 2 所示, DrIB 海域分布如图 3 所示。

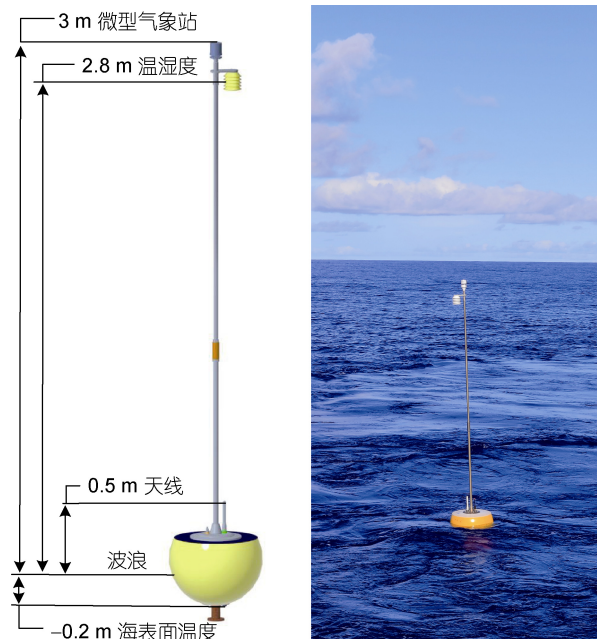


图 1 漂流式海气界面浮标(DrIB)结构图

Fig.1 Structure of the DrIB (drifting air-sea interface buoy) floater

1.2 Argo 浮标温盐数据

Argo (array for real-time geostrophic oceanography) 是 1998 年提出的一个全球海洋观测试验项目, 旨在快速、准确、大范围地收集全球海洋上层的海水温、盐度剖面资料, 以提高气候预报的精度, 有效防御海洋灾害给人类造成的威胁。大多数 Argo 浮标在水下 5 m 处进行最后的测量, 但其中一些 Argo 浮标是在 3~5 m 测量温度和盐度的, 由此获得的海表面温度观测数据可以与 DrIB 数据进行对比分析(黄明海等, 2015; Xi *et al.*, 2017¹³⁸; Wang *et al.*, 2019)。本文采用全球海洋 Argo 浮标温盐剖面数据集的数据资料, 选取 0~5 m 以内最接近海面的温度数据为实测数据并作为试验数据, 时间是 2018 年 5 月 10 日~11 月 25 日(2018 年 DrIB 观测海表面温度数据包含 5 月 10 日~11 月 25 的数据, Argo 观测的海表面温度、SVP 浮标观测的海表面温度和 OISST 数据选择同时间段), 纬度范围为 30°~40°N, 经度范围是 140°~155°E。

1.3 SVP 漂流浮标数据

全球 SVP 漂流浮标属于全球漂流浮标计划(global drifter program, GDP), 数据由大西洋海洋和气象实验室(Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory, AOML)的流浮标数据协会(Drifter Data

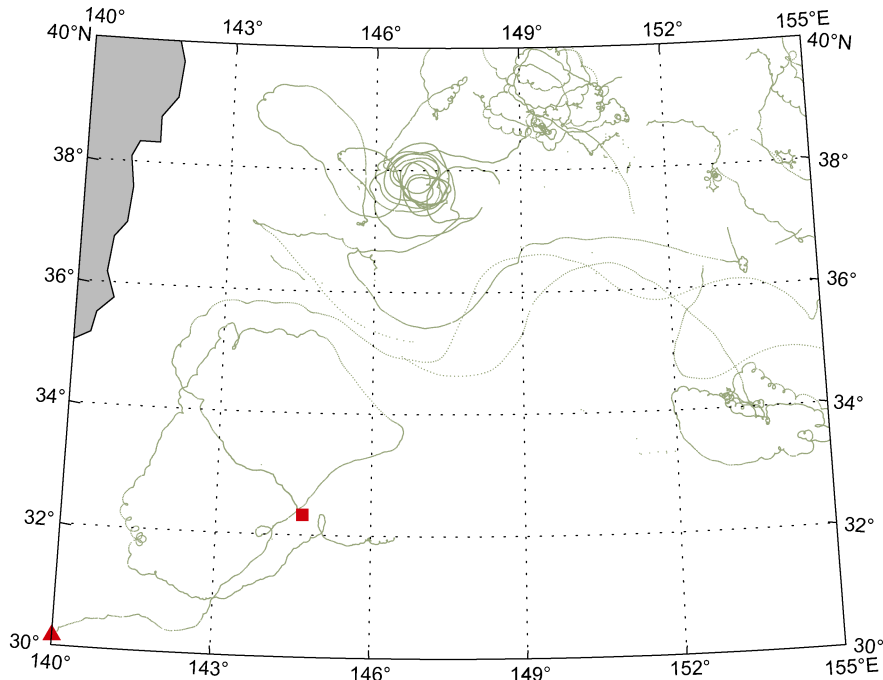


图 2 2018 年 DrIB 数据分布图

Fig.2 DrIB data distribution in 2018

注: 图中正方形代表浮标的起始点, 三角形代表浮标的终止点

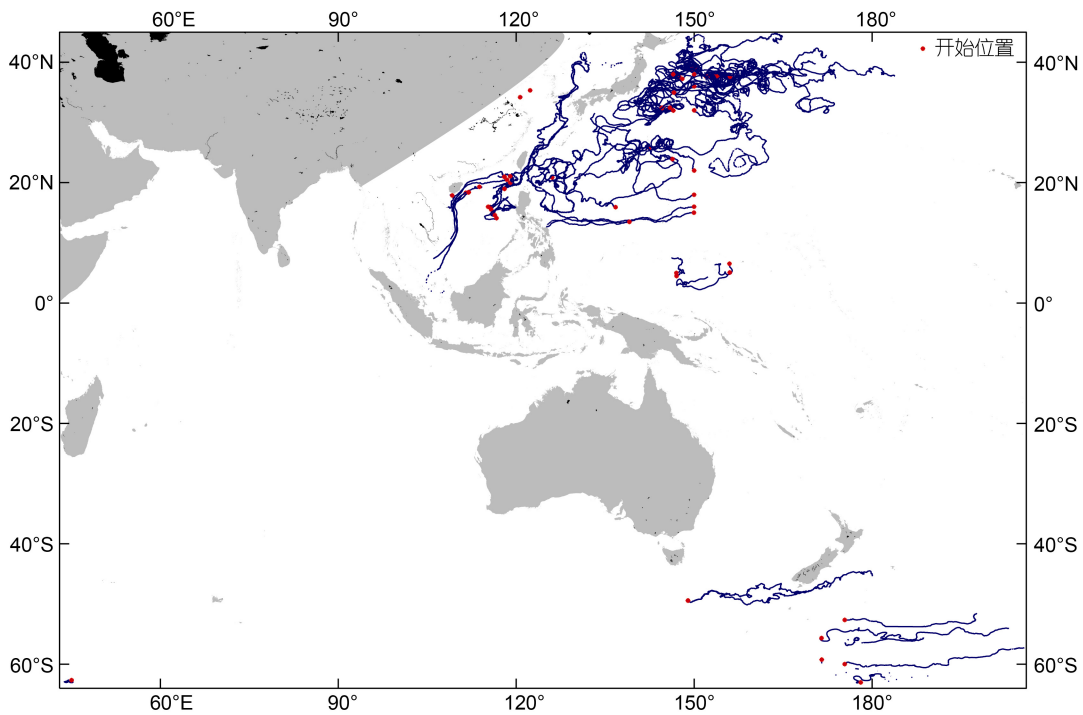


图 3 DrIB 观测应用的海域分布图

Fig3 Sea area distribution of observation application of DrIB

Assembly Center, DAC)收集并进行质量控制, 然后应用 kriging 插值法插值到统一的 6 h 时间间隔中(朱恩泽, 2016)¹²⁷。SVP 浮标能够测量海表面下 20~30 cm

处的海水温度和 15 m 处的混合层海水流速, 其中部分 SVP 浮标还有气压、风速、盐度和水色等传感器, 为海洋学研究提供了重要的数据资料集。

AOML 提供自 1979 年至今经过插值的海表面温度和流速数据, 数据更新每 6 个月进行一次(朱恩泽, 2016)¹²⁷(数据可以从网站 <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/dacdata.html> 获得)。本文采用 SVP 浮标观测的 SST 数据作为试验数据, 时间是 2018 年 5 月 10 日~11 月 25 日, 纬度范围为 30°~40°N, 经度范围是 140°~155°E(图 4)。

1.4 OISST 数据

OISST 是美国 NOAA 利用不同观测平台的数据, 如卫星、浮标、船测等, 在海洋大气综合数据集 (comprehensive ocean-atmosphere data set, COADS) 资

料基础上改进而成(赵洪臣等, 2016)⁴⁶³。其对卫星观测数据进行了严格的质量控制, 包括了卫星观测和船只测量(相对于参照浮标)的偏差调整, 补偿平台之间的差异和传感器产生的偏差, 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, 使得资料的空间覆盖范围、时空分辨率提高(Reynolds *et al.*, 1993)。OISST 资料的起始时间为 1981 年, 水平分辨率为 0.25°×0.25° (Han *et al.*, 2022)。本文采用的是该数据集 2018 年 5 月 10 日~11 月 25 日黑潮延伸体海域(30°~40°N, 140°~155°E)的日数据。

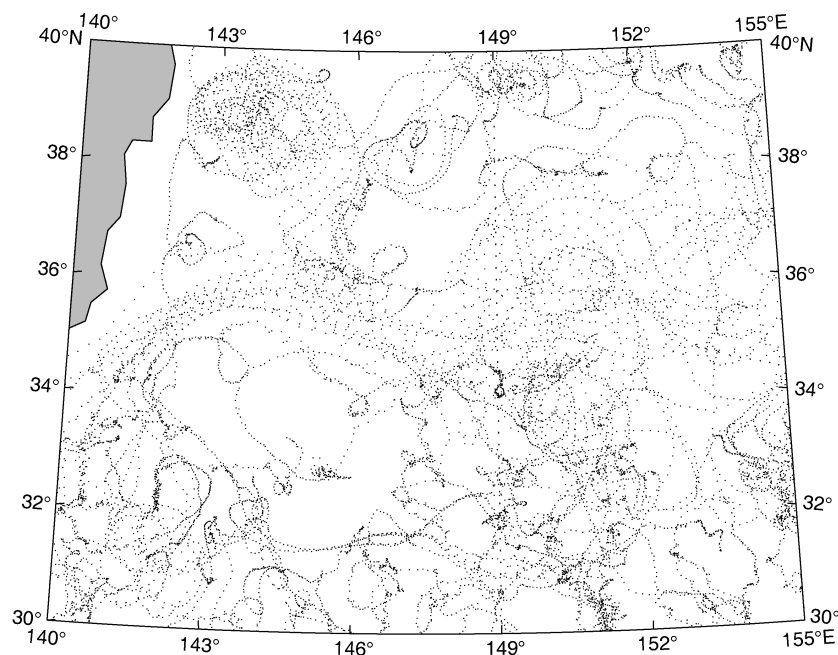


图 4 2018 年 SVP 漂流浮标观测 SST 数据分布图

Fig.4 SVP (surface velocity program) buoy observed SST data distribution in 2018

2 研究方法

2.1 数据预处理

在数据匹配之前, 需要采取以下步骤对 2018 年 DrIB 浮标、Argo 浮标、SVP 浮标数据和 OISST 数据进行预处理, 如图 5 所示。首先, 判断海表面温度数据是否处于正常海表面温度数据范围之内, 多年 Argo 数据极值作为上下限, 设置上限范围(40 °C), 下限范围(-3 °C), 若 SST 大于上限, 或者小于下限, 则认为它为异常值予以剔除; 其次, 黑潮延伸体海区 2018 年的区域观测值范围检验, 多年该海域 Argo 数据极值作为上下限, 设置上限范围(40 °C), 下限范围(0 °C), 若 SST 大于上限, 或者小于下限, 则认为它

为异常值予以剔除; 最后, 对数据进行尖峰检验, 如出现较大的突变, 则判定为异常值, 予以剔除。四种数据经过以上步骤处理后认为它们可以用于对比验证浮标数据, 这些数据作为试验数据(李明等, 2008¹⁸; 赵洪臣等, 2016⁴⁶⁴; 汤博, 2019; 王晨琦等, 2020)。

2.2 时空匹配方法

匹配 DrIB 浮标与 Argo 浮标、SVP 浮标 SST 数据和 OISST 数据是比较复杂的过程, 因为不同 SST 数据在时间和空间上都存在不同之处, 为了获得与 DrIB 浮标同步的 Argo 浮标 SST 数据、SVP 浮标 SST 数据和 OISST 数据进行对比验证, 根据前人研究以及相关参考文献, 最终本文采取时间窗口为 1 h (DrIB 时间间隔为 1 h)、空间窗口为 30 km 的匹配准

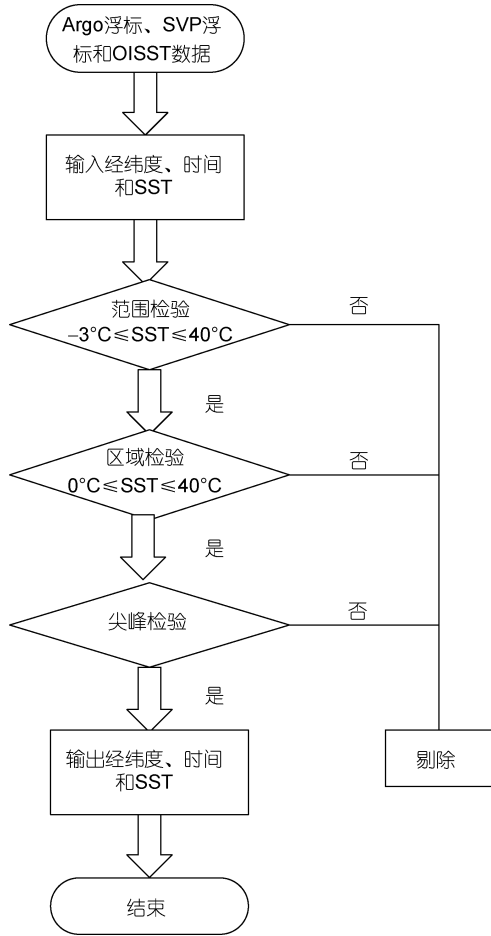


图 5 数据预处理流程图

Fig.5 Processing procedure of data
注: SST: 海表面温度(sea surface temperature)

则。在黑潮延伸体海域 30 km 范围内海况变化相对较小, 能够认为这个范围内海水特性一致, 而更小的空间窗口数据含量小, 统计学意义不大, 故空间窗口为 30 km (李明等, 2010⁴⁸; Hu *et al.*, 2015; 黄明海等, 2015; Han *et al.*, 2016⁷⁸; 赵洪臣等, 2016⁴⁶⁴; Xi *et al.*, 2017¹³⁸; Zhang *et al.*, 2021; 刘紫薇等, 2022)。匹配流程如图 6 所示, 首先, 根据经纬度信息对 DrIB 浮标与 Argo 浮标、SVP 浮标 SST 数据和 OISST 数据进行空间匹配, 匹配窗口选择 30 km, 得到 DrIB 浮标分别与 Argo、SVP 浮标和 OISST 的空间匹配结果; 其次, 该海区的 SST 数据应处在一定海表面温度范围之内, 对 DrIB 浮标、Argo 浮标、SVP 浮标数据和 OISST 数据进行温度阈值设定, 粗差检验以及过滤处理, 处于温度范围之外的数据点予以剔除; 最后, 对处理过的 DrIB 浮标空间匹配数据分别与长时间序列的 Argo、SVP 浮标站点数据和 OISST 数据做时间匹配, 选择时间窗口为 1 h, 得到时间匹配

结果。由于每一种数据记录在空间范围 30 km、时间范围 1 h 之内的差异, 其匹配结果会出现多个 DrIB 浮标数据对应一个 Argo 或 SVP 浮标站点 SST 数据或 OISST 数据的现象, 或者一个 DrIB 浮标数据对应多个 Argo 或 SVP 浮标站点 SST 数据或 OISST 数据的现象。为使其匹配结果准确, 对多个匹配 SST 数据做平均, 使其匹配结果为一个 DrIB 浮标 SST 数据对应一个 SST 数据(Han *et al.*, 2016)⁷⁹。

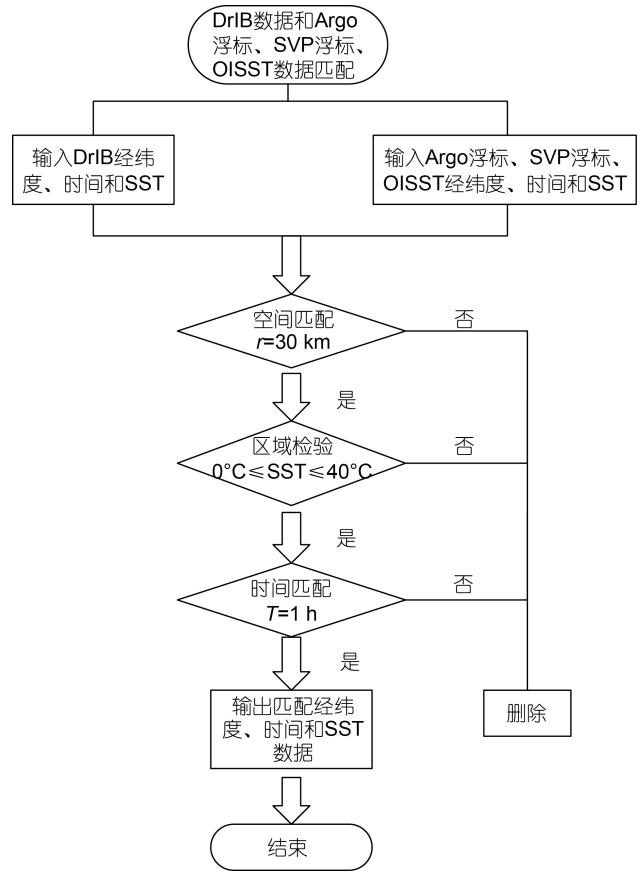


图 6 匹配流程图

Fig.6 Flowchart of the collocation procedure
注: r: 空间匹配半径; T: 时间间隔

2.3 精度评估方法

本文使用相关系数(R)、均方根误差(E_{RMS})、平均误差(θ)和散度(I_s)对研究海域的数据进行评估, 计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2}}, \quad (1)$$

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2}{N}}, \quad (2)$$

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(A_i - B_i)|, \quad (3)$$

$$I_S = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(A_i - \bar{A}) - (B_i - \bar{B})]^2}{N}}}{\bar{B}}, \quad (4)$$

其中, N 是其他 SST 数据与 DrIB 浮标 SST 数据匹配点总数目, A_i 是 Argo、SVP 的 SST 或 OISST 的数值, \bar{A} 是 Argo、SVP 的 SST 或 OISST 的数值平均值, B_i 是 DrIB 浮标 SST 数值, \bar{B} 是 DrIB 浮标 SST 平均值。

3 结果和讨论

3.1 漂流式海气界面浮标与 Argo 浮标 SST 数据对比

图 7 和图 8 给出了 Argo 浮标观测 SST 和 DrIB 浮标观测 SST 的时空匹配结果图(图 7a)、温度三维分

布图(图 7b)和散点图(图 8a), 从图 8a 中可以明显地观察到匹配点都比较均匀地分布在回归线的周围, Argo 浮标与 DrIB 浮标观测 SST 之间具有正相关的线性关系, 相关系数 R 为 0.973 7, 均方根误差为 0.579 0 °C, 平均误差为 0.453 9 °C (图 8b)。结果表明, Argo 浮标观测 SST 和 DrIB 浮标观测 SST 具有很好的一致性, 二者总体质量相当。

3.2 漂流式海气界面浮标与 SVP 浮标对比

SVP 浮标观测 SST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据时空匹配结果如图 9 所示。SVP 浮标与 DrIB 浮标观测匹配验证结果相关系数 $R=0.928 5$, 均方根误差是 1.323 0 °C, 平均误差为 0.979 4 °C。

图 9b 和图 10a 分别给出了 SVP 浮标观测 SST 和 DrIB 浮标观测 SST 的温度三维分布图和散点图, 从图 10a 中可以明显地观察到匹配点都比较均匀地分布在回归线的周围。图 10b 可以观察到, 二者最小的误差为 0.003 °C, 最大的误差为 3.88 °C。分析误差较大的原因, 图 9a 中黄色三角形及其对应的绿色圆点

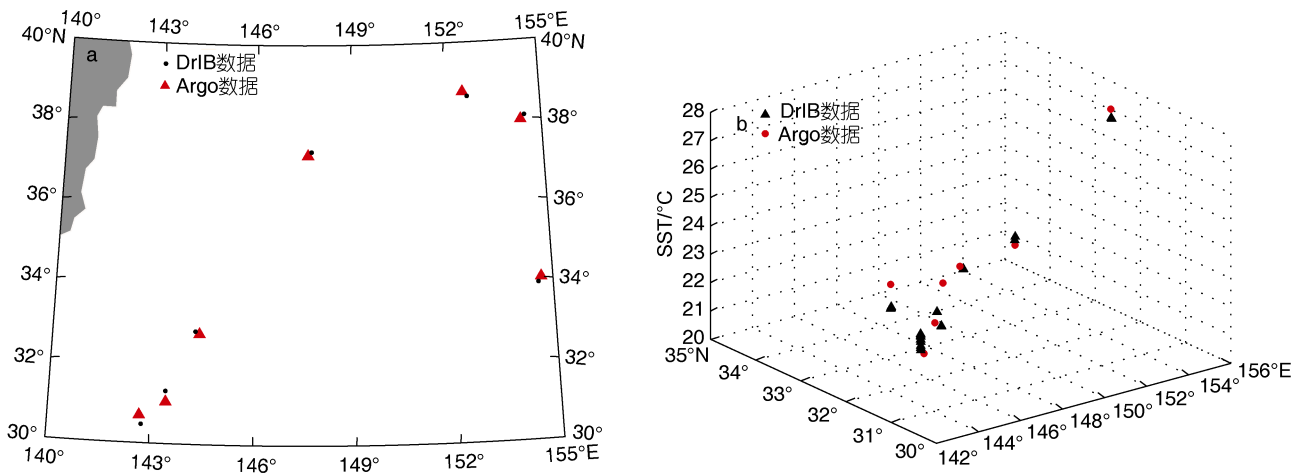
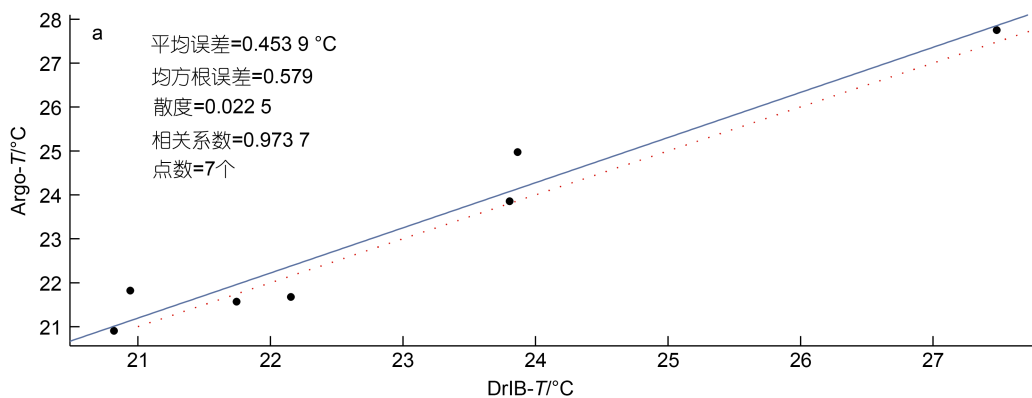


图 7 Argo 浮标观测 SST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据空间匹配分布图(a)和空间匹配三维分布图(b)

Fig.7 Spatial matching distribution (a) and three-dimensional distribution of spatial matching (b) of SST data observed by Argo buoy and DrIB buoy



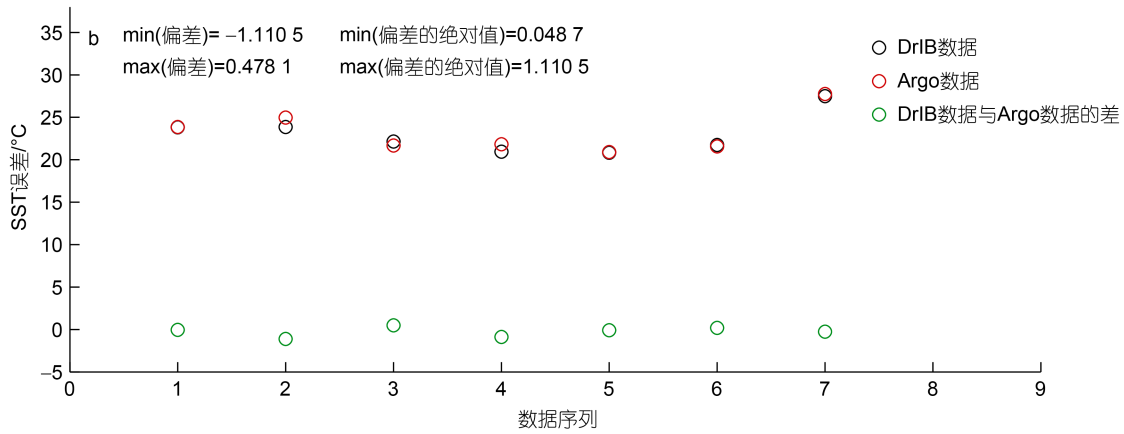


图 8 Argo 浮标观测 SST 数据(Argo-7)与 DrIB 浮标观测 SST 数据(DrIB-7)散点图(a)和误差图(b)
 Fig.8 Scatter plot (a) and error plot (b) of SST data observed by Argo buoy and DrIB buoy
 注: a 中红色虚线为 45°对角线, 蓝色线为 DrIB 温度数据与 Argo 温度数据的拟合曲线

表 1 DrIB 数据与其他数据匹配结果

Tab.1 The results of matching between DrIB data and other data

数据	散度	相关系数	均方根误差/°C	平均误差/°C	数据匹配量/个	浮标匹配量/个	数据观测深度/m
Argo	0.022 5	0.973 7	0.579 0	0.453 9	26	7	0~5
SVP	0.065 9	0.928 5	1.323 0	0.979 4	63	17	0.2~0.3
OISST	0.041 5	0.982 3	0.798 8	0.743 4	3 685	816	皮温

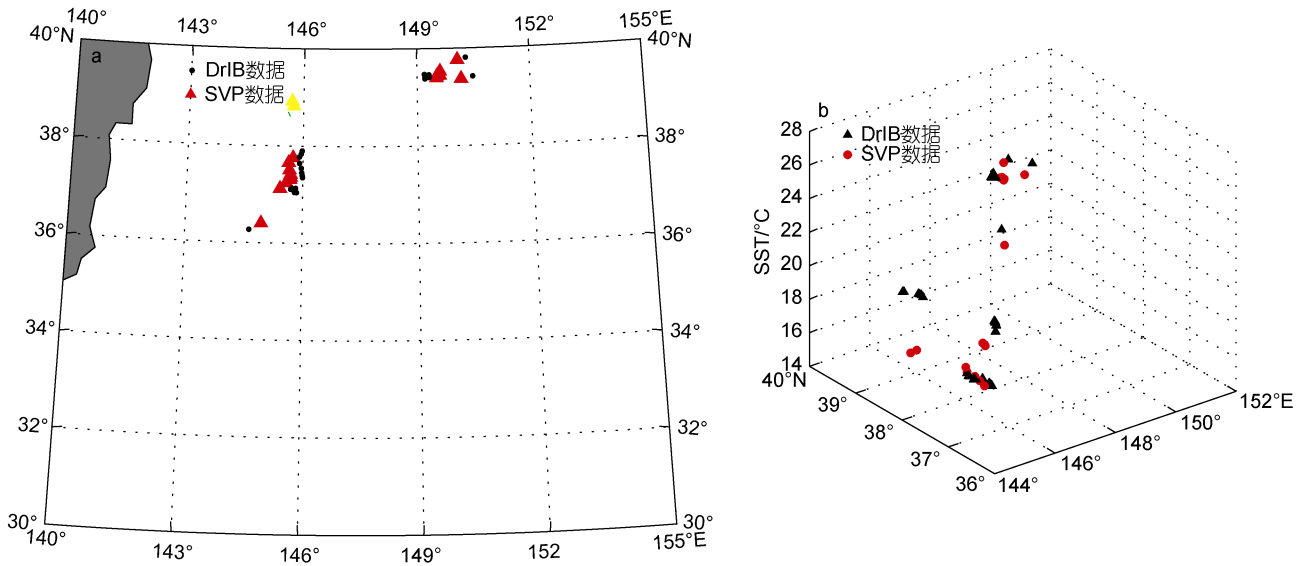


图 9 SVP 浮标观测 SST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据空间匹配(a)和空间匹配三维分布图(b)

Fig.9 Spatial matching (a) and three-dimensional distribution (b) of spatial matching between SST data observed by SVP buoy and DrIB buoy

注: a 中黄色三角形及其对应的绿色圆点分别表示 SVP 浮标观测 SST 和 DrIB 浮标观测 SST 误差大于 3 °C 所对应的匹配点位置

分别表示 SVP 浮标观测 SST 和 DrIB 浮标观测 SST 误差大于 3 °C 所对应的匹配点位置。一方面, 这些匹配点位于黑潮延伸体北部千岛寒流接壤海域, 受寒暖流影响, 有很多锋面和涡旋产生, 该海域时空变化相对剧烈, 大气中水汽含量不同, 会对浮标观测海表温度

产生较大影响; 另一方面, 误差大于 3 °C 的匹配点时间是 2018 年 6 月 28 日, 正处于夏季, 太阳辐射增强, 近海表温度分层, 造成二者海表温度偏差增大。总体来说, SVP 浮标观测 SST 和 DrIB 浮标观测 SST 具有较好的一致性, 但是相比与 Argo 的一致性较差。

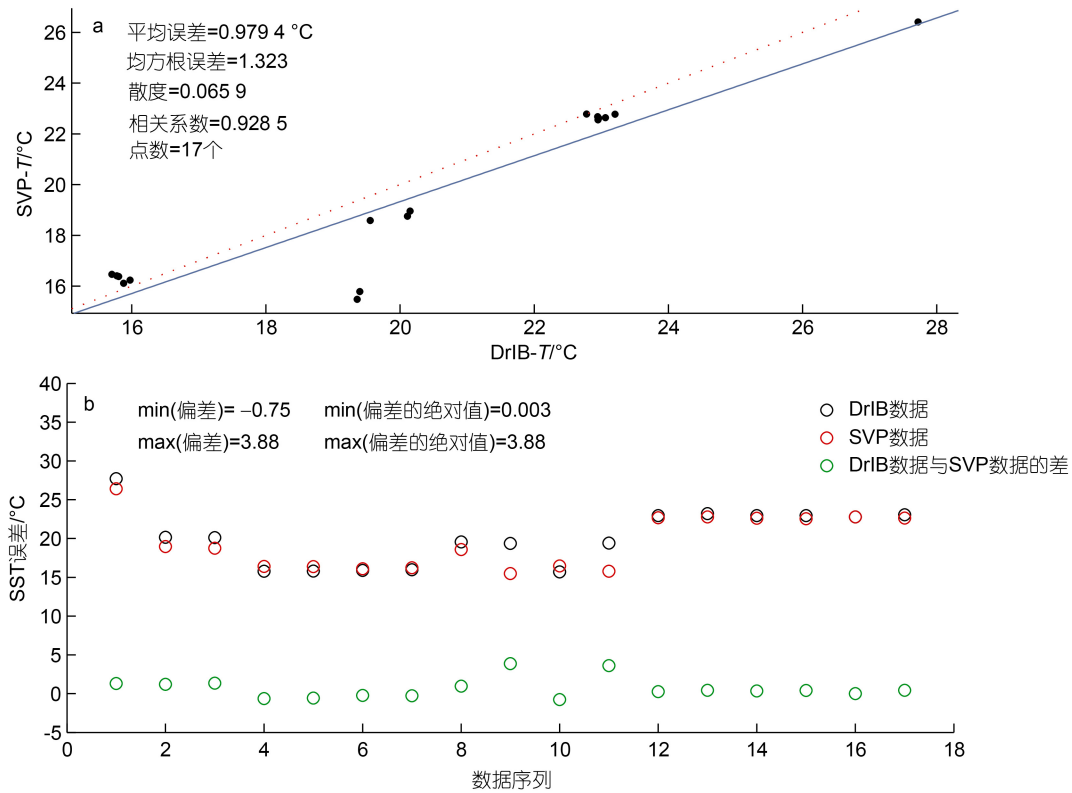


图 10 SVP 浮标观测 SST 数据(SVP-7)与 DrIB 浮标观测 SST 数据(DrIB-7)散点图(a)和误差图(b)
 Fig.10 Scatter plot (a) and error plot (b) of SST data observed by SVP buoy and DrIB buoy
 注: a 中红色虚线为 45° 对角线, 蓝色线为 DrIB 温度数据与 SVP 温度数据的拟合曲线

3.3 漂流式海气界面浮标与 OISST 对比

OISST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据时空匹配结果如图 11a。可以看到 OISST 与 DrIB 浮标观测匹配验证结果相关系数 $R=0.9823$, 均方根误差是 $0.7988\text{ }^{\circ}\text{C}$, 平均误差为 $0.7434\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

图 11b 和图 12a 分别给出了 OISST 和 DrIB 浮标观测 SST 的温度三维分布图和散点图, 从图 12a 中可以明显地观察到匹配点都比较均匀地分布在回归线的周围。图 11b 可以观察到, 二者最小的误差为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大的误差为 $4.6125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。分析误差较大的原因, 一

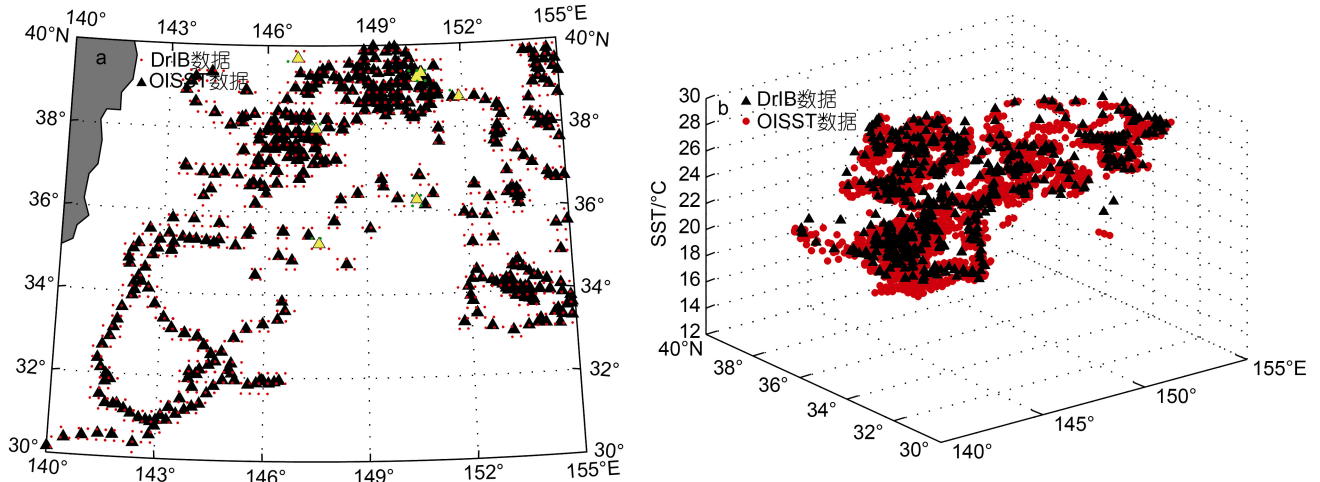


图 11 OISST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据空间匹配(a)和空间匹配三维分布图(b)

Fig.11 Spatial matching (a) and three-dimensional distribution (b) of spatial matching between OISST data and DrIB buoy SST data
 注: a 中黄色三角形及其匹配的绿色圆点分别表示 OISST 和 DrIB 浮标观测 SST 误差大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所对应的匹配点

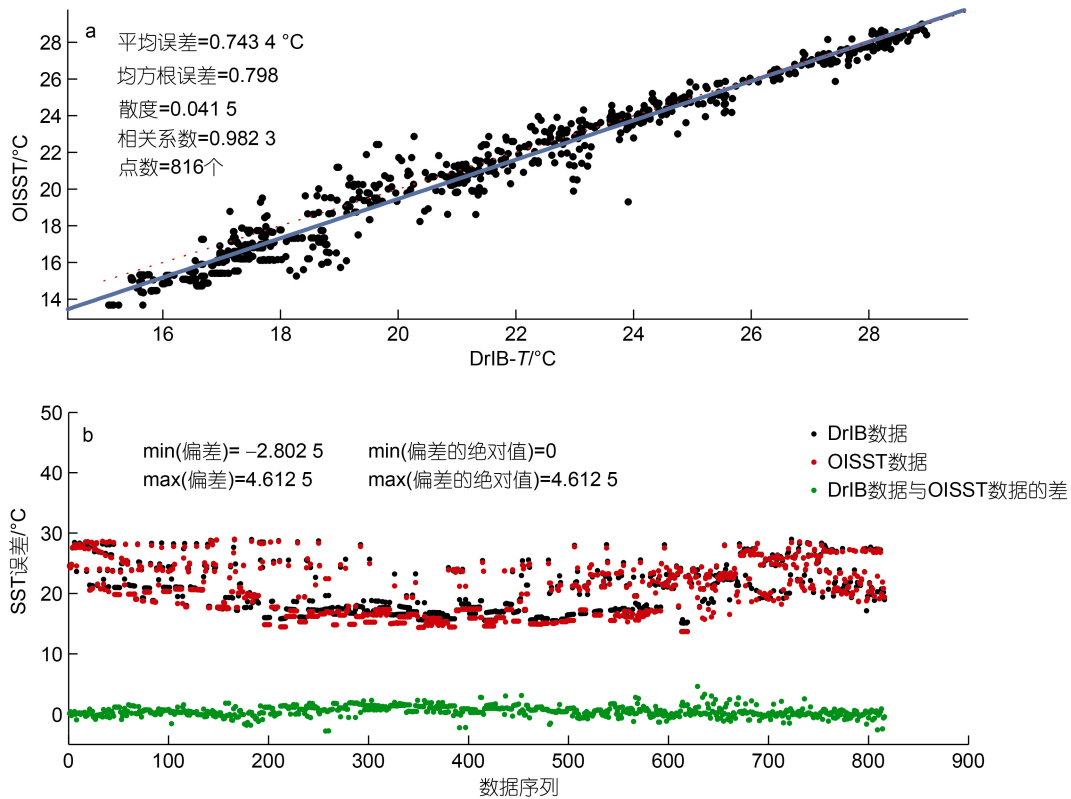


图 12 OISST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据散点图(a)和误差图(b)

Fig.12 Scatter plot (a) and error plot (b) of OISST data and DrIB buoy observation SST data
注: a 中红色虚线为 45° 对角线, 蓝色线为 DrIB 温度数据与 OISST 数据的拟合曲线

方面,二者数据来源以及数据处理方法的不同可能会影响二者的误差;另一方面,如图 11a 中黄色三角形及其匹配的绿色圆点分别表示 OISST 和 DrIB 浮标观测 SST 误差大于 3 °C 所对应的匹配点。这些匹配点的位置在黑潮延伸体北部与千岛寒流接壤或是寒暖流交汇的海域,可能受寒暖流交汇影响也会导致误差较大。结果表明, OISST 和 DrIB 浮标观测 SST 具有较好的一致性,但相比与 Argo 的一致性较弱一些,比与 SVP 的一致性较强,如图 14 所示。

图 13 是黑潮延伸体海域 2018 年 5 月 10 日、8 月 16 日和 11 月 24 日 OISST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据海表面温度分布图,从图 13 中可以看到, OISST 能够大范围的获取观测数据,但是由于分辨率和精度的原因,获取的数据并不能很好地反映海洋中小尺度的信息;从 DrIB 观测 SST 数据捕捉到海表中小尺度的信息,能够较为精细化地反映中小尺度分布特征,例如图中显示的小范围海域温度的变化。如果研究海洋中小尺度的精细化结构,漂流式海气界面浮标数据是较好的选择;如果研究大范围海域,卫星观测 OISST 数据更为合适。

4 结论与展望

本文利用全球 Argo 浮标、全球 SVP 漂流浮标观测的海表面温度数据和 OISST 数据,针对黑潮延伸体海域,对 2018 年 DrIB 观测的 SST 数据进行较为系统的评估,结论如下:

(1) DrIB 观测 SST 数据与 Argo、SVP 和 OISST 海表面温度数据都有很高的相关性,都能很好地反映黑潮延伸体 SST 特征。其中, DrIB 观测 SST 数据与 Argo 观测 SST 数据的误差最小(平均误差 0.4539 °C)、一致性最好($R=0.9737$),数据质量总体稳定、可靠。漂流式海气界面浮标作为一种新型的观测手段,完全具备了准确观测 SST 的能力。

(2) Argo 剖面数据精度更高,但是缺乏海面观测,海面数据获取困难; SVP 的精度较低,多用于跟踪大洋环流的研究; OISST 能够大范围地获取观测数据,但是获取的数据精度较低并不能很好地反映海洋中小尺度的信息,时间分辨率同样不高,对于快速中小尺度的捕捉有局限性; DrIB 浮标观测数据空间分辨率更好,可以捕捉到海洋表层中小尺度的变化信

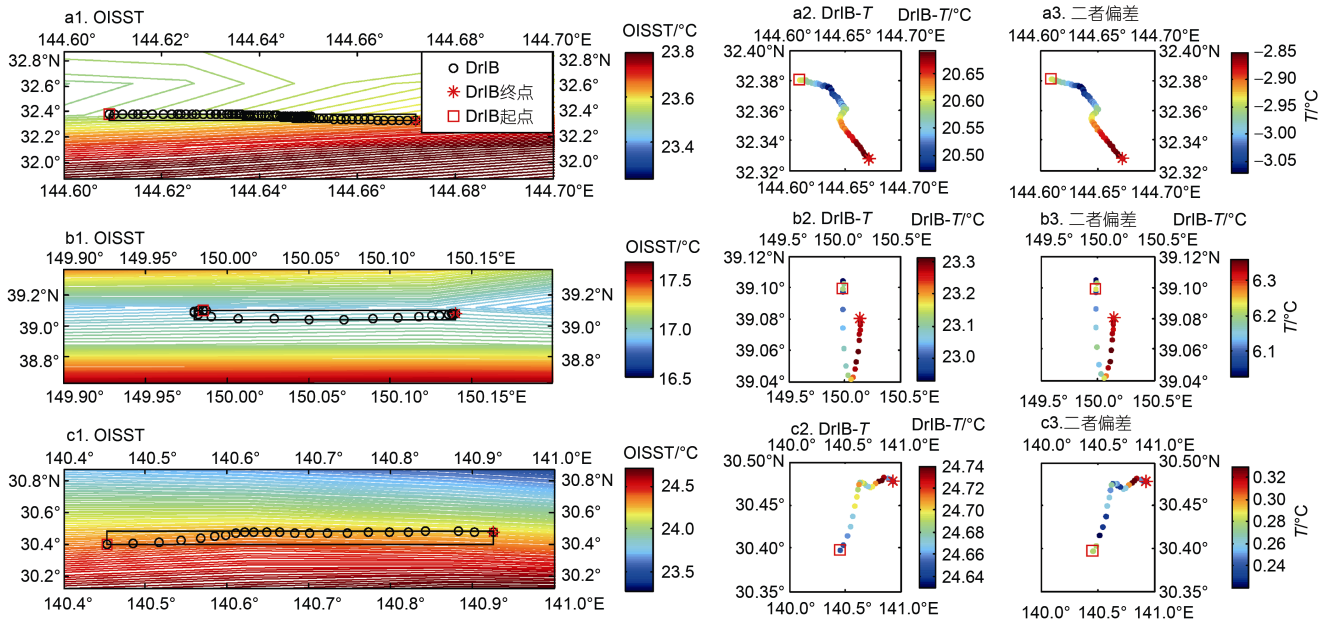


图 13 黑潮延伸体海域 2018 年 5 月 10 日、8 月 16 日和 11 月 24 日 OISST 数据与 DrIB 浮标观测 SST 数据分布图
 Fig.13 Distribution of SST data from OISST and DrIB buoy observation on May 10, August 16, November 24, and November 25, 2018 in the Kuroshio extension area

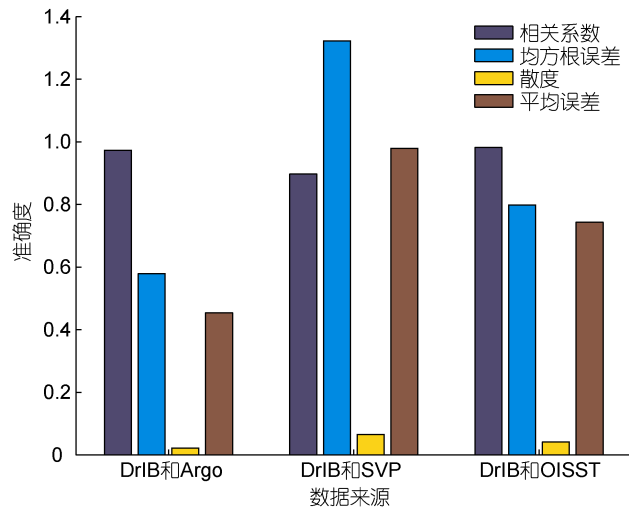


图 14 DrIB 与 Argo、SVP 和 OISST 的对比柱形图
 Fig.14 Histogram of DrIB compared with Argo, SVP, and OISST

息，数据精度高能够精细化观测台风、中尺度涡等中小尺度分布特征，可以更好的服务于卫星定标检验和海气相互作用研究。

通过分析，不同种类 SST 产品数据存在差异。这些差异可能来自于数据源、数据量、生成算法、质量控制方法和海洋物理现象等。总体而言，本文研究可以为 DrIB、Argo、SVP 和 OISST 海表面温度数据验证及其应用提供参考；同时本文只是对 2018 年 DrIB

观测 SST 数据进行分析比较，因此后续将对大量 DrIB 观测 SST 数据作进一步研究；并且在之后的工作中，也将对 DrIB 观测的其他物理要素进行评估检验，如气温、气压、风速、风向和相对湿度等。

参 考 文 献

王艺晴, 韩震, 周玮辰, 等. 基于 Argo 浮标的西太平洋 SMAP 卫星海表面盐度数据质量评估[J]. 海洋科学进展, 2019, 37(3): 387-397.

王晨琦, 李响, 张蕴斐, 等. 2020. 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, 42(3): 118-128.

邢霄波, 徐永生, 贾永君, 等. 2021. 关于黑潮延伸体海域水体的三维热结构时-空变化特征研究[J]. 海洋预报, 38(1): 67-77.

朱恩泽, 2016. WindSat 海温产品与 SVP 浮标资料对比分析[J]. 科技风(17): 127-128.

刘紫薇, 赵帅康, 魏笑然, 等. 2022. 主流海表风场资料在舟山群岛近海的性能评估[J]. 海洋与湖沼, 53(3): 528-537.

汤博, 2019. 中尺度涡旋的统计特征及其温盐场的反演方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所): 47-52.

李明, 刘骥平, 张占海, 等. 2010. 利用南大洋漂流浮标数据评估 AMSR-E SST[J]. 海洋学报, 32(6): 47-55.

李明, 张占海, 刘骥平, 等. 2008. 利用南极走航观测评估卫星遥感海表面温度[J]. 海洋学报, 30(3): 16-27.

张贝贝, 李大成, 苏巧梅, 等. 2021. 基于 Argo 浮标层温数据的海表温度产品生成与验证[J]. 无线电工程, 8: 724-749.

张笑, 贾英来, 沈辉, 等. 2013. 黑潮延伸体区域海洋涡旋研究进展[J]. 气候变化研究快报, 2(1): 1-8.

- 陈祚琛, 王斌, 张金凤, 2021. 小型漂流观测平台水动力特性数值模拟研究[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 36(5): 668-676.
- 赵洪臣, 刘永学, 周兴华, 等, 2016. 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, 34(4): 462-473.
- 胡晓悦, 张彩云, 商少凌, 2015. 南海及周边海域融合海表温度产品的验证与互较. 遥感学报, 19(2): 328-338.
- 党超群, 孙东波, 王斌, 等, 2022. 基于小型漂流平台的微型温湿测量系统[J]. 海洋技术学报, 41(1): 37-45.
- 奚萌, 宋清涛, 李文君, 等, 2017. 西北太平洋海表温度融合产品交叉比对分析[J]. 海洋学报, 39(12): 136-151.
- 黄明海, 张彪, 陈忠彪, 等, 2015. 基于遥感资料和观测数据的重点海域海表盐度评估分析[J]. 广西科学, 22(3): 329-336.
- 韩伟孝, 杨俊钢, 王际朝, 2016. 基于浮标数据的卫星雷达高度计海浪波高数据评价与校正[J]. 海洋学报, 38(11): 73-89.
- CENTURIONI L R, TURTON J, LUMPKIN R, *et al*, 2019. Global *in situ* observations of essential climate and ocean variables at the air-sea interface [J]. *Frontiers in Marine Science*, 6: 419, doi: 10.3389/fmars.2019.00419.
- HAN G J, ZHOU J F, SHAO Q, *et al*, 2022. Bias correction of sea surface temperature retrospective forecasts in the South China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 41(2): 41-50, doi: 10.1007/s13131-021-1880-5.
- Reynolds W R, 1993. Impact of mount Pinatubo aerosols on satellite-derived sea surface temperature[J]. *Journal of Climate*, 6(4): 768-774.

DATA ANALYSIS AND EVALUATION OF DRIFTING AIR-SEA INTERFACE BUOYS IN KUROSHIO EXTENSION SEA AREA

XING Xiao-Bo^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, CHEN Zhao-Hui³

(1. National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China; 2. Key Laboratory of Ocean Observation Technology, Ministry of Natural Resources, Tianjin 300112, China; 3. Key Laboratory of Physical Ocean Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract The drift sea-air interface buoy is an innovative “small, light, and maintenance-free” drifting observation. It can measure 11 different physical parameters, including 3-m weather above the sea surface, sea surface temperature 20 cm below water surface), and wave parameters, and has been used for many times with good result. To promote the global application of the observation data by floating air-sea interface buoy, based on the sea surface temperature observed by Argo, SVP buoy, and OISST data of the Kuroshio extension sea area in 2018, the sea surface temperature observed by the drifting air-sea interface buoy developed independently in China was evaluated systematically and its observation accuracy in the complex hydrological environment of the Kuroshio extension areas was tested. Result show that that correlation coefficient between SST data observed by drift sea-air interface buoy and that observed by Argo was 0.973 7, and the root mean square error and average error were 0.579 0 °C and 0.453 9 °C, respectively. The correlation coefficient with SVP buoy SST data was smaller than that with Argo, which is 0.928 5, the root mean square error was 1.323 0 °C, and the average error was about 0.979 4 °C. The correlation coefficient with OISST data was 0.982 3, the root mean square error was 0.798 8 °C, and the average error was 0.743 4 °C. The SST data observed by drifting sea-air interface buoy are in good agreement with those observed by Argo, SVP, and OISST, and the quality of the observed data is at the same level. Therefore, as a new observation method, drifting sea-air interface buoy has the ability to accurately observe SST.

Key words Kuroshio extension; drifting buoy; sea surface temperature; evaluation