

# 中国南海及邻近海域 SST 时空分布和变化特征分析

孙伟富<sup>1</sup>, 张 杰<sup>1</sup>, 孟俊敏<sup>1\*</sup>, 王 进<sup>2</sup>, 苗俊伟<sup>3</sup>

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 青岛大学 物理科学学院, 山东 青岛 266071;  
3. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘 要:** 基于 2003—2015 年的国产自主 SST 多源遥感融合数据, 以中国南海及邻近海域为研究区, 开展了 SST 时空分布和变化特征分析, 结果表明: SST 的空间分布总体呈现南高北低的特点, 在研究区内, 纬度每降低 1°, SST 增大 0.19 °C, 在近赤道区域, 纬度每降低 1°, SST 约增大 0.30 °C; SST 区域极大值的季节变化特征明显, 冬季 SST 极大值均分布于 5°N 以南海域, 夏季多分布于 15°N 以北海域, 春秋两季分布介于冬春两季之间, 秋季略偏向南海北部, 春季略偏向南海南部。从时间变化上看, 研究区 SST 呈现震荡上升趋势, 上升速率约 0.04 °C/a; 南海南部 SST 变化比较平缓, SST 年变化速率一般小于 0.04 °C/a; 近岸海域受人类活动的影响, SST 年变化速率一般在 0.05 °C/a 以上; 在河口沿岸海域, 受温度较低的冲淡水影响, SST 升温不明显。

**关键词:** 海面温度; 遥感; 辐射计; 中国南海

**中图分类号:** P731.11; TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-6647(2018)03-0402-10

**doi:** 10.3969/j.issn.1671-6647.2018.03.007

海面温度 (Sea Surface Temperature, SST) 是全球气候变化的关键指示因子<sup>[1]</sup>, 其直接影响着大气和海洋间的热量、动量和水汽交换, 是驱动全球水循环的重要参数, 关系着全球表面的能量收支平衡<sup>[2]</sup>。对于时空动态变化范围巨大的海洋水体, 基于浮标、平台和志愿船等的传统调查手段难以准确揭示海洋在季节、年际、年代际尺度上的变化。卫星遥感以其快速、大范围同步、连续观测的技术优势成为获取全球海洋环境观测数据的有效手段。世界各国发射了搭载辐射计的系列卫星。目前, SST 的卫星遥感观测手段主要包括以 WindSat 和 AMSR-E 为代表的微波辐射计、以 MODIS 和 AVHRR 为代表的红外辐射计两类。由于微波具有对云雾的穿透能力, 星载微波辐射计每天可覆盖全球 90% 的海域, 可实现全天候的 SST 观测, 但是微波辐射计天线足印大, 数据的空间分辨率较低<sup>[3]</sup>; 红外辐射计 SST 测量数据的空间分辨率高, 但受云雾气候条件影响大, 无法实现全天候观测, 同时其空间覆盖度低。因此, 单星 SST 产品存在各自的优势和不足, 联合利用国内外现有 SST 卫星遥感观测数据, 发展全球海洋 SST 遥感融合数据产品, 并进行 SST 时空分布和演变特征分析, 对于全球气候变化、全球水循环和能量平衡研究具有重要的意义。基于单星红外和微波辐射计数据, 国外有若干不同研究机构如 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), Met Office, JPL (Jet Propulsion Laboratory), JMA (Japan Meteorological Agency) 和 RSS (Remote Sensing System) 等制作了各自的 SST 融合数据产品, 主要包括: OI SST<sup>[4]</sup>, JMA merged SST<sup>[5]</sup> 和 RSS MW/MW-IR OI SST<sup>[6]</sup> 等。这些 SST 数据产品的空间分辨率一般为 0.05°~0.25°, 时间分辨率一般为 1 d, 普遍采用最优插值方法融合了不同红外、微波辐射计的 SST 产品<sup>[7]</sup>, 如 TMI, AMSR-E, WindSat, AVHRR 和 MODIS 等, 未

**收稿日期:** 2017-05-11

**资助项目:** 国家重点研发计划项目——海洋气候数据集生成与分析 (2016YFA0600102); 全球变化与海气相互作用专项——南海 SCS-YGST04 区块海洋环境参数遥感调查 II 期 (GASI-02-SCS-YGST2-04)

**作者简介:** 孙伟富 (1983-), 男, 山东招远人, 助理研究员, 博士, 主要从事微波辐射与全球变化方面研究。E-mail: sunweifu@fio.org.cn

\* **通讯作者:** 孟俊敏 (1973-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 研究员, 博士, 主要从事海洋动力过程微波探测方面研究。E-mail: mengjm@fio.org.cn

(王 燕 编辑)

融合中国 HY-2A 微波辐射计数据。国内,国家海洋局第一海洋研究所基于星载红外辐射计、国外微波辐射计和 HY-2A 微波辐射计数据,制作了 2003—2015 年的全球海洋多源遥感 SST 数据融合数据,时间分辨率为 1 d,空间分辨率为  $0.1^\circ$ 。国内外的这些 SST 融合数据产品,为 SST 时空分布特征分析提供了高时空分辨率的数据支持。

科学家采用不同手段研究了海洋 SST 特征,例如:采用实测岩芯资料分析地质年代的 SST 演化特征<sup>[8]</sup>、采用现场单点观测研究 SST 日变化<sup>[9]</sup>、利用单星遥感数据研究 SST 日变化<sup>[10]</sup>等。南海 SST 时空变化方面,有科研人员利用再分析等材料,分析南海表层温度异常的时空变化,研究其与季风、台风的关系<sup>[11-13]</sup>,有科研人员利用单星和实测插值的 SST 数据开展近 10 a 南海温度场变化趋势分析<sup>[14]</sup>,还有科研人员利用岩芯资料分析了南海几十万年代尺度上的 SST 演变特征<sup>[15-16]</sup>。可以看出,利用融合遥感产品进行 SST 变化研究的工作还较少,特别是没有利用自主 SST 遥感融合产品进行短期变化分析的研究工作。本文利用国家海洋局第一海洋研究所自主生成的全球海洋多源遥感 SST 数据融合产品,对中国南海及邻近海域 2003—2015 年的 SST 时空分布和演变特征进行了系统分析。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区介绍

南海海域位于我国大陆以南,为 NE—SW 走向,是热带太平洋西部的一个重要的边缘海,它纵跨亚热带、热带,是东亚季风作用的典型海域,SST 时空变化特征明显。南海通过台湾海峡、吕宋海峡、巴拉巴克海峡、卡里马塔海峡和马六甲海峡等,连通太平洋、苏禄海和印度洋等。整个南海几乎被大陆、半岛和岛屿所包围,从四周呈阶梯状向中部加深,形成一个半封闭的海盆。本文中国南海及邻近海域的研究范围为( $99^\circ \sim 121^\circ\text{E}, 0^\circ \sim 23^\circ\text{N}$ ),如图 1 所示。

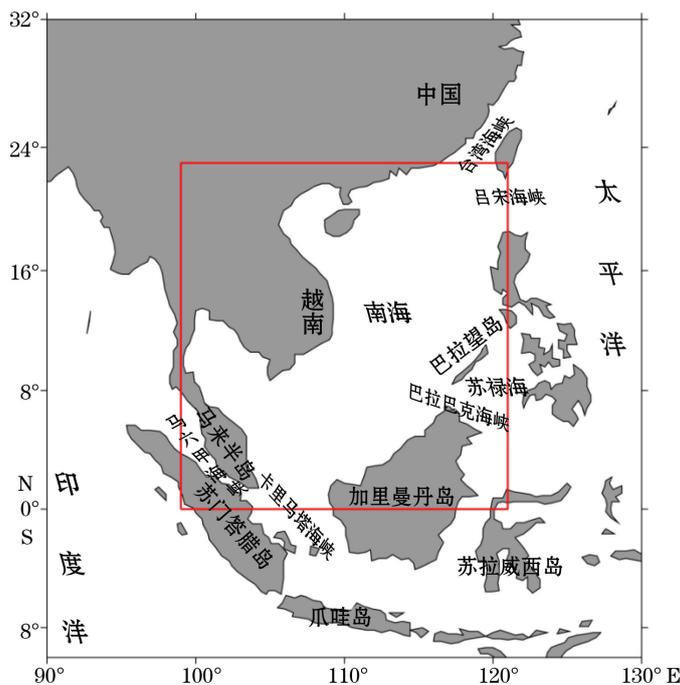


图 1 研究区范围

Fig.1 Scope of the study area

## 1.2 数据

### 1.2.1 融合产品介绍

基于国家海洋局第一海洋研究所生成的 2003—2015 年的全球海洋多源遥感 SST 数据融合产品开展中国南海及邻近海域 SST 时空分布与演变特征分析。该产品采用欧洲中期气象预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)提供的全球  $1^\circ$  分辨率的 SST 再分析产品为背景场, 基于最优插值方法<sup>[17-19]</sup>, 融合了 WindSat, AMSR-E, AMSR2, HY-2A RM, MODIS(Aqua/Terra) 和 AVHRR 等微波和红外多源 SST 观测数据, 时间分辨率为 1 d, 空间分辨率为  $0.1^\circ$ , 产品格式为 NetCDF, 产品生成的技术流程如图 2 所示。

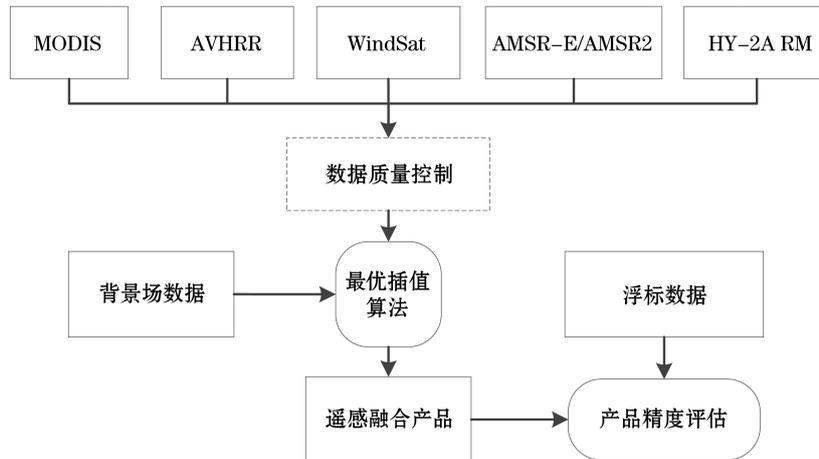


图 2 SST 数据产品生成技术流程图

Fig.2 Technology flow chart of SST data product generation

在产品融合之前, 对所使用的单星产品进行了质量控制, 剔除了默认填充值、 $-4^\circ\text{C}$  以下以及  $40^\circ\text{C}$  以上的数据, 利用质量标记位, 剔除了受陆地影响较大以及质量较差的数据。本海面温度遥感数据产品样例如图 3 所示。

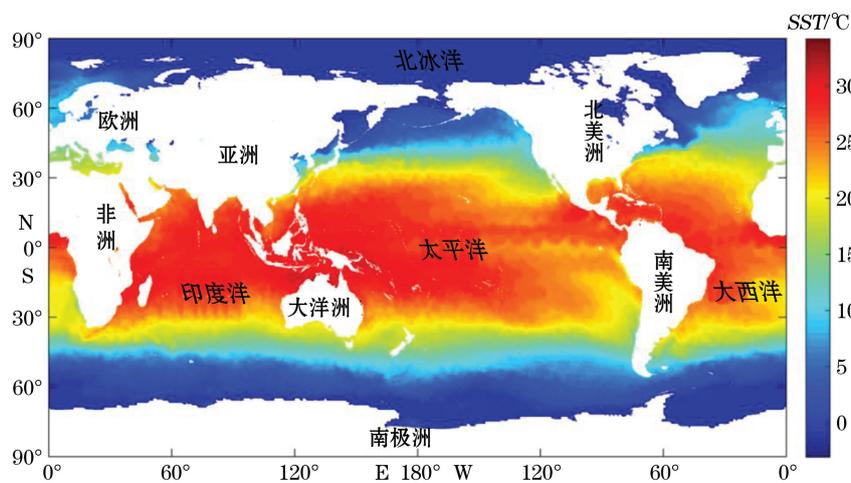


图 3 2012-01-01 全球海洋 SST 样例数据

Fig.3 Global ocean SST sample data in 2012-01-01

### 1.2.2 融合产品检验

本文中共使用了 55 个 TAO 浮标、27 个 RAMA 浮标、18 个 PIRATA 浮标的 SST 观测数据,检验该 SST 数据融合产品的精度,浮标数据由美国国家海洋和大气管理局 NOAA 提供。采用 50 km 空间窗口和 24 h 时间窗口,对 SST 融合数据产品与浮标数据进行匹配,构成匹配数据集,计算了各年 SST 融合产品的平均偏差(BIAS)、均方根误差(RMSE)和相关系数(R),如表 1 所示。结果表明,本文中 SST 数据产品存在一定的负偏差, RMSE 一般小于 0.5 °C,与 RMSE 为 0.6 °C 以上的单星 SST 产品<sup>[20-22]</sup>对比,精度有一定的提升;与 NOAA 生产的 0.45 °C<sup>[23]</sup>的 OI SST 融合产品精度相当,优于韩国海洋科学和技术研究所(KIOST)生产的 RMSE 为 0.71 °C<sup>[24]</sup>的融合产品。

表 1 2003—2015 年 SST 融合产品精度检验结果

Table 1 Comparison between the gridded SST and buoys in 2003—2015

检验参数	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
数据量	22 917	22 217	22 193	22 991	25 248	26 829	27 240	28 001	29 836	22 906	18 143	18 507	28 322
BIAS/°C	-0.16	-0.14	-0.23	0.05	-0.19	0.04	-0.08	-0.07	-0.11	-0.17	-0.19	-0.07	-0.06
RMSE/°C	0.46	0.43	0.51	0.44	0.46	0.41	0.37	0.39	0.35	0.43	0.42	0.36	0.37
R	0.97	0.98	0.97	0.97	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98

为验证该融合产品与国外同类 RSS 红外-微波融合产品的一致性,利用 2014 年的 2 种产品开展了对比验证工作,结果发现,2 种产品的 RMSE 约为 0.70 °C。为了更好地验证 2 种产品的差异,开展了全球 0.1° 网格 RMSE 分布分析,结果发现, RMSE 最大值出现在北极、次北极以及美国沿岸地区,其他地区一致性较好,如图 4 所示。

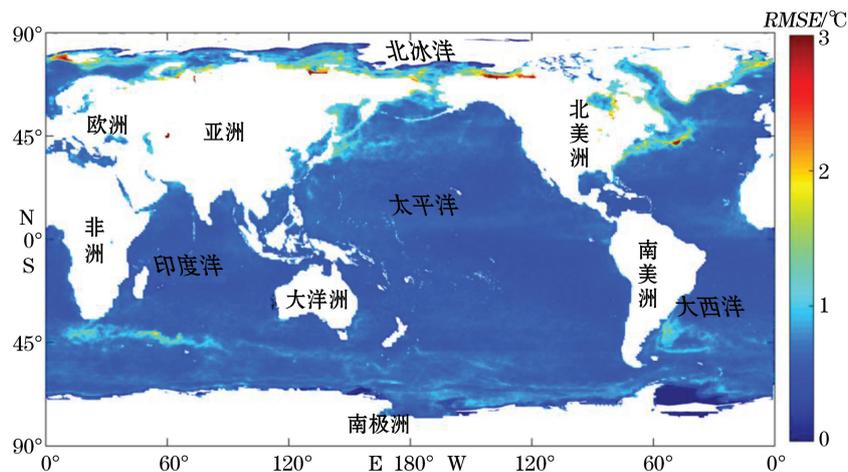


图 4 2 种融合产品的 RMSE 全球分布

Fig.4 Global distributions of the RMSE between the two fusion products

## 2 中国南海及邻近海域 SST 时空分布与演变特征

### 2.1 SST 时间变化特征

利用中国南海及邻近海域 2003—2015 年多源遥感 SST 融合数据,开展 SST 区域月均值与变化特征分析,以及 SST 区域年均值与逐年时间变化趋势分析。

### 2.1.1 区域 SST 月均值与时间变化趋势

对 13 a 的中国南海及邻近海域 1—12 月份 SST 值进行了平均,并对 4 个季节的 SST 值进行了分析,结果如图 5 所示。由图 5 可见,中国南海及邻近海域四季 SST 值均高于 26 °C,冬季(每年 12 月至翌年 2 月)SST 值较低,其中 1 月是全年 SST 值最低的月份,为 26.27 °C;进入春季(3—5 月)后 SST 值逐月上升,到夏季(6—8 月)SST 达到一年中的最大值,约 29.85 °C,7 月和 8 月 SST 值较为平稳;进入秋季(9—11 月)后 SST 值逐步下降,下降趋势约 0.62 °C/月。

### 2.1.2 区域 SST 年均值与时间变化趋势

利用融合产品得到的中国南海及邻近海域逐年 SST 平均值如图 6a 所示。由图 6a 可知,SST 年平均值一般为 28.2 °C 左右,2003—2015 年,SST 年平均值最大为 28.74 °C,出现在 2010 年;SST 年平均值最小为 27.92 °C,出现在 2004 年,次低值为 2005 年的 27.96 °C。这 13 a 间,SST 呈较为明显的上升趋势,进一步对 SST 的逐年变化趋势进行了线性回归分析,得到的线性方程为

$$SST\_year = a \times year + b, \quad (1)$$

式中,SST\_year 为 SST 拟合值, $a$  为 SST 逐年增量,为 0.04 °C/a; $b$  为常数项,为 -52 °C。利用同时期 AVHRR SST 产品同时进行了 SST 年均值与时间变化趋势的研究,中国南海及邻近海域逐年 SST 平均值如图 6b 所示,由图 6 中可以看出,2 种产品所得的 SST 平均值分布基本一致,SST 逐年增量相当,线性趋势具有较好的一致性。

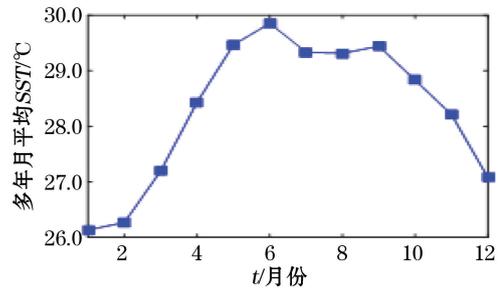
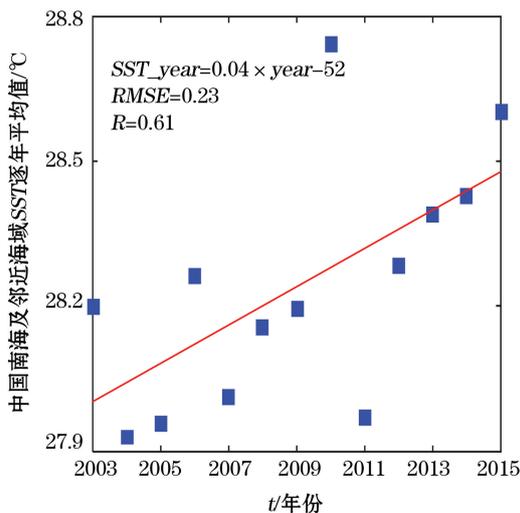
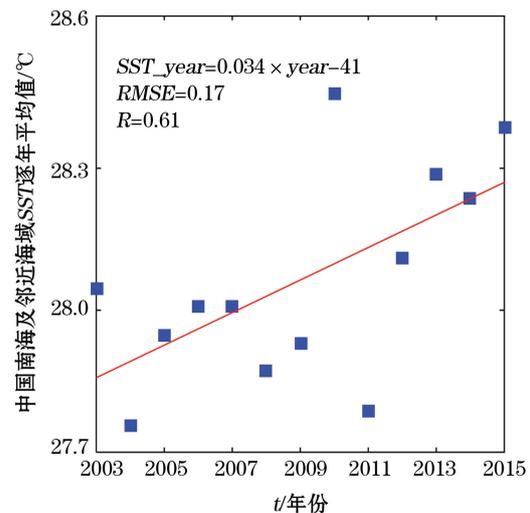


图 5 2003—2015 年各月平均 SST 值

Fig.5 Monthly average SST values from 2003 to 2015



(a) 基于融合产品的 SST 年平均值及变化趋势



(b) 基于 AVHRR 的 SST 年平均值及变化趋势

图 6 SST 年平均值以及变化趋势

Fig.6 Annual average SST and trend

## 2.2 SST 空间分布特征

对中国南海及邻近海域 0.1° 网格的 SST 值进行了 13 a 平均,逐网格 SST 平均值的空间分布如图 7 所示。可见,SST 的分布总体呈现南高北低、随纬度分布的特点。15°N 以北海域的 SST 一般低于 28 °C,10°N 以南海域 SST 一般高于 29 °C。在南海中部(108°~120°E,10°~17°N)海域存在着一个比较明显的 SST 梯度锋,总体呈 SW—NE 走向。

为了更好地描述 SST 值随纬度的变化,针对中国南海及邻近海域  $0^{\circ}\sim 23^{\circ}\text{N}$  纬度范围,按  $1^{\circ}$  间隔对 SST 值进行平均,从而获得了 SST 与纬度的变化关系,如图 8 所示。可见,SST 随纬度变化的特点明显,基本呈二次变化趋势,从  $22^{\circ}\text{N}$  处的  $25.39^{\circ}\text{C}$  增大到  $2^{\circ}\text{N}$  处的  $29.12^{\circ}\text{C}$  过程中,纬度每降低  $1^{\circ}$ ,SST 约增大  $0.19^{\circ}\text{C}$ ;靠近赤道区域,SST 变化较为平缓,而在离赤道较远的  $22^{\circ}\text{N}$  到  $11^{\circ}\text{N}$  处,SST 线性变化趋势明显,温度值从  $25.39^{\circ}\text{C}$  快速增大到  $28.66^{\circ}\text{C}$ ,纬度每降低  $1^{\circ}$ ,SST 约增大  $0.30^{\circ}\text{C}$ 。

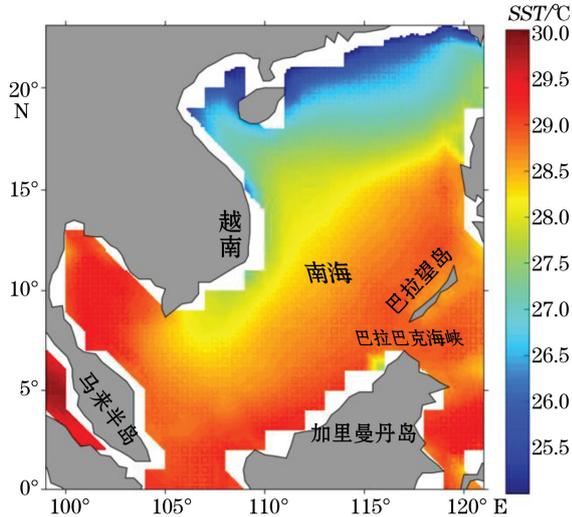


图 7 逐网格 SST 平均值

Fig.7 Average SST in each grid

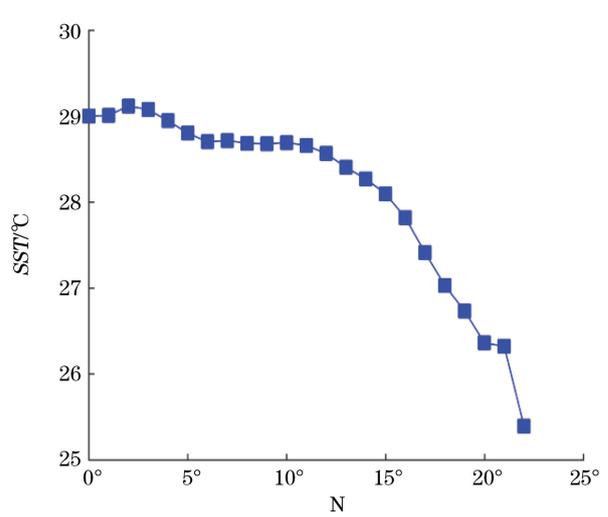


图 8 SST 与纬度的关系

Fig.8 Relationship between SST and latitude

### 2.3 SST 极大值与时空分布特征

为了同时体现极大值的数值与位置,本节取的年极大值是每年 SST 的最大值,季节极大值是每年每季度 SST 的最大值。中国南海及邻近海域每年出现的 SST 极大值如图 9 所示,因每年取一个极大值,随机性较大,受云量、风速和水汽等因素影响,年极大值出现轻度震荡,但是总体呈现上升趋势。图中可见,2005 年和 2007 年 SST 的极大值较低,分别为  $32.63^{\circ}\text{C}$  和  $32.72^{\circ}\text{C}$ ,低于其他年份( $33^{\circ}\text{C}$  左右)。2007—2013 年,SST 极大值近似呈现随年份线性增长的趋势,变化趋势约  $0.25^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。

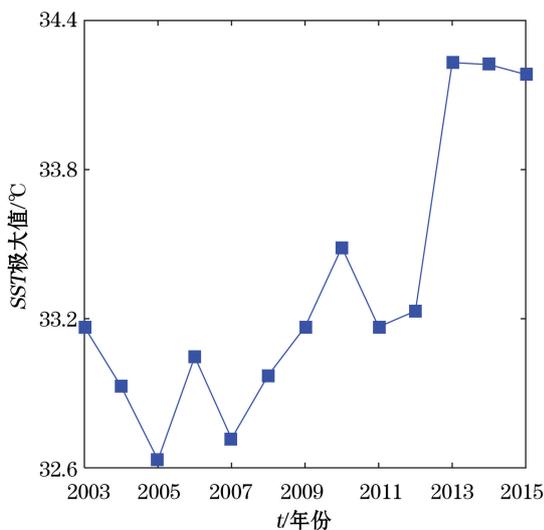


图 9 2003—2015 年区域内 SST 极大值

Fig.9 Maximum value of SST from 2003 to 2015

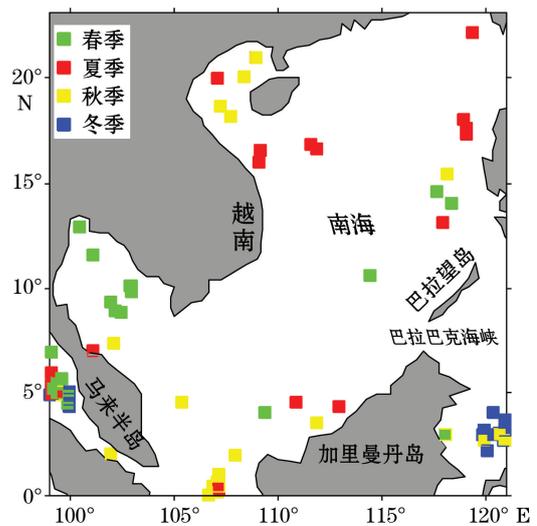


图 10 SST 季节极大值的时空分布

Fig.10 Temporal and spatial distribution of seasonal SST maximum

2003—2014 年 SST 年极大值按季节统计的时空分布情况如图 10 所示,其中春季取 3—5 月,夏季取 6—8 月,秋季取 9—11 月,冬季取 12 月至翌年 2 月。由图 10 可知,SST 极大值季节变化特征明显,冬季 SST 极大值均分布于  $5^{\circ}\text{N}$  以南海域;夏季 SST 极大值的空间分布明显北移,大部分分布于  $15^{\circ}\text{N}$  以北海域;春秋两季 SST 极大值分布介于冬春两季之间,秋季 SST 极大值分布略偏向南海北部,春季 SST 极大值分布偏向南海南部。同时,大部分 SST 极大值分布于陆地近海区域,表明 SST 极值更容易在近海区域出现。

## 2.4 区域 $0.1^{\circ}$ 网格 SST 时空变化趋势

SST 空间分布区域均值仅能反映研究区域内的 SST 整体变化趋势,而 SST 是一种随时间、空间快速变化的海洋参量,为了更好地描述 SST 在研究区域内不同空间位置的变化趋势,本节针对研究区域中每个  $0.1^{\circ}$  网格,统计了 2003—2015 年的 SST 的逐年变化趋势。

首先对研究区域内逐网格点的年平均 SST 值进行了统计,然后分析了 SST 年均值与年份的关系,对两者进行了线性回归,回归方程与式(1)相同,从而获得了研究区域内逐网格点的拟合方程斜率,即研究区域内逐网格的 SST 逐年变化趋势。由于研究区域内存在部分陆地和近海海域,在这些区域星载微波辐射计亮温容易受到陆地污染和无线电射频干扰的影响,数据质量较差甚至无法进行 SST 反演,因此在统计过程中对逐网格点 SST 年均值的有效性进行了检查,剔除了有效数据少于 5 个的网格点,最终获得逐网格的 SST 年变化趋势如图 11 所示。图中可见,研究区域内 SST 整体变化趋势为逐年增长,印证了海洋升温的事实,但是 SST 变化趋势随空间位置的不同而变化。研究区南部( $99^{\circ}\sim 118^{\circ}\text{E}, 0^{\circ}\sim 11^{\circ}\text{N}$ )距离赤道较近,接收太阳辐射相对稳定,SST 变化比较平缓,SST 年变化速率一般小于  $0.04^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。在北部湾、越南沿岸、马来西亚沿岸、菲律宾东部沿岸、我国广东省、海南省和东沙群岛沿岸等近岸海域,受人类活动的影响,SST 年变化速率大于开阔海域,一般在  $0.05^{\circ}\text{C}/\text{a}$  以上。在河口沿岸海域,SST 逐年变化趋势约等于 0,这主要是由陆地温度较低的冲淡水径流引起的。

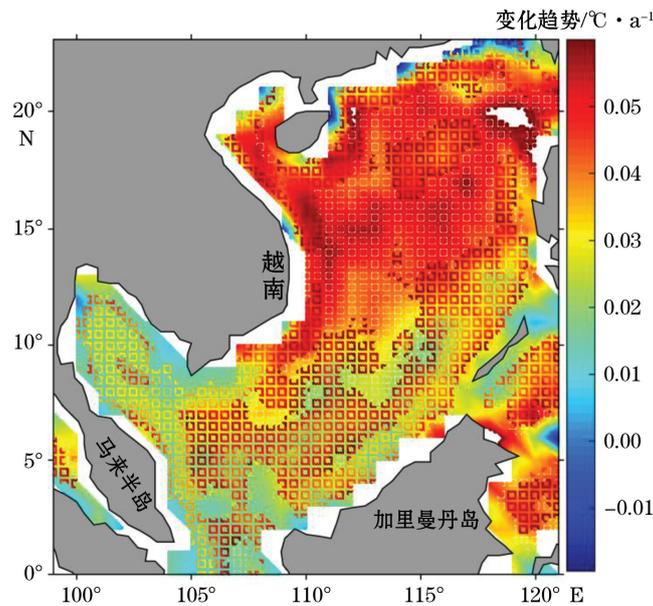


图 11 区域内各网格点的 SST 年均值变化趋势

Fig.11 Change trend of each grid in study area

## 3 结 论

SST 描述海洋的基础物理特征,是海气系统的重要参数,影响海洋动力环境和海气相互作用。长时间

序列、一致性高的 SST 数据可以有效描述区域海洋的变化特征。基于 2003—2015 年的国产自主 SST 多源遥感融合数据,在对 SST 融合数据进行数据质量评估的基础上,本文系统分析了中国南海及邻近海域 SST 时空分布和变化特征,得出主要结论:

1)中国南海及邻近海域 13 a 平均的四季 SST 值均高于 26 °C,冬季 SST 值较低,进入春季后 SST 值逐月上升,到夏季 SST 达到一年中的最大值,进入秋季后 SST 值逐步下降,下降趋势约 0.62 °C/月。中国南海及邻近海域 SST 年平均值在 28.2 °C 左右,13 a 间,SST 呈现上升趋势,上升趋势约 0.04 °C/a。

2)中国南海及邻近海域 SST 的分布总体呈现南高北低的特点,15°N 以北海域的 SST 一般低于 28 °C,10°N 以南海域 SST 一般高于 29 °C。SST 随纬度变化特征明显,研究区域内,纬度每降低 1°,SST 约增大 0.19 °C。

3)SST 极大值季节变化特征明显,冬季 SST 极大值均分布于 5°N 以南海域,夏季 SST 极大值多分布于 15°N 以北海域,春秋两季 SST 极大值分布介于冬春两季之间,秋季略偏向南海北部,春季略偏向南海南部。

4)SST 整体变化趋势为逐年增长,研究区南部 SST 变化比较平缓,SST 年变化速率一般小于 0.04 °C/a,近岸海域受人类活动的影响,SST 年变化速率一般在 0.05 °C/a 以上,在河口沿岸海域,SST 逐年变化趋势约为 0。

#### 参考文献(References):

- [1] KAWAI Y, WADA A. Diurnal sea surface temperature variation and its impact on the atmosphere and ocean: a review[J]. *Journal of Oceanography*, 2007, 63(5): 721-744.
- [2] DASH P, IGNATOV A, MARTIN M, et al. Group for high resolution sea surface temperature (GHRSSST) analysis fields inter-comparisons. Part 2: near real time web-based level 4 SST Quality Monitor (L4-SQUAM)[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2012, 77: 31-43.
- [3] WANG Y Z, GUAN L, QU L Q. Merging Sea surface temperature observed by satellite infrared and microwave radiometers using Kalman Filter[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(12): 126-130.
- [4] MARTIN M, DASH P, IGNATOV A, et al. Group for high resolution sea surface temperature (GHRSSST) analysis fields inter-comparisons. Part 1: a GHRSSST multi-product ensemble (GMPE)[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2012, 77: 21-30.
- [5] CHAO Y, LI Z, FARRARA J D, et al. Blending sea surface temperatures from multiple satellites and in situ observations for coastal oceans[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2009, 26(7): 1415-1426.
- [6] XIE J, ZHU J, LI Y. Assessment and inter-comparison of five high-resolution sea surface temperature products in the shelf and coastal seas around China[J]. *Continental Shelf Research*, 2008, 28(10): 1286-1293.
- [7] HOSODA K, QIN H L. 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.
- [8] HAO P, LI T G, CHANG F M, et al. Response of the southwestern South China Sea to the rapid climate changes since the last glacial maximum[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2014, 34(4): 83-91. 郝鹏,李铁刚,常凤鸣,等.末次盛冰期以来南海西南海区对快速气候变化的响应特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2014, 34(4): 83-91.
- [9] MERCHANT C J, FILIPIAK M J, LE B P, et al. Diurnal warm-layer events in the western Mediterranean and European shelf seas[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(4): 222-256.
- [10] TANAHASHI S, KAWAMURA H, TAKAHASHI T, et al. Diurnal variations of sea surface temperature over the wide-ranging ocean using VISSR on board GMS[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2003, 108(7): 331-351.
- [11] QI Q H, CAI R S. The relation between the spatial-temporal evolution of SST in the South China Sea and the earlier or later onset of the South China Sea summer monsoon[J]. *Haiyang Xuebao*, 2014, 36(3): 94-103. 齐庆华,蔡榕硕.南海海表温时空演变与南海夏季风爆发早晚相关性初探[J]. *海洋学报*, 2014, 36(3): 94-103.
- [12] ZHAO Y P, CHEN Y L, BAI X Z, et al. The relations between the SST anomalies in South China Sea tropical eastern Indian Ocean and the South China Sea monsoon[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2000, 16(2):115-122. 赵永平,陈永利,白学志,等.南海-热带东印

- 度洋海温年际变化与南海季风爆发关系的初步分析[J]. 热带气象学报, 2000, 16(2): 115-122.
- [13] QIU T, ZUO J C, WANG D Q, et al. Variation of climatological sea surface temperature and its effect on local typhoon activities in the South China Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2017, 35(1): 32-39. 邱婷, 左军成, 王鼎琦, 等. 南海海表温度气候变异及对局地台风的影响[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(1): 32-39.
- [14] WANG J Y, FANG G H, WANG Y G. Trends and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height and surface temperature in the recent decade[J]. *Advances in Marine Science*, 2017, 35(2): 159-175. 王佳莹, 方国洪, 王永刚. 南海海面风场、高度场和温度场近十年的变化趋势及年际变化特征[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(2): 159-175.
- [15] ZHAO M, HUANG C Y, WANG C C, et al. A millennial-scale  $U_{\text{ice}}$  sea-surface temperature record from the South China Sea ( $8^{\circ}\text{N}$ ) over the last 150 kyr: Monsoon and sea-level influence[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 236(1-2): 39-55.
- [16] LI L, WANG H, LI J R, et al. Changes in sea surface temperature in western South China Sea over the past 450 ka[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(18): 3335-3343.
- [17] 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.
- [18] REYNOLDS R W, SMITH T M. Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation[J]. *Journal of Climate*, 1994, 7(6): 929-948.
- [19] REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C, et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. *Journal of Climate*, 2007, 20(22): 5473-5496.
- [20] SUN F Q, ZHANG C Y, SHANG S P, et al. Primary validation of AVHRR/MODIS/TMI SST for part of northwest Pacific[J]. *Journal of Xiamen University(Natural Science)*, 2007, 46(Supp.1): 1-5. 孙凤琴, 张彩云, 商少平, 等. 西北太平洋部分海域 AVHRR、TMI 与 MODIS 遥感海表层温度的初步验证[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2007, 46(增 1): 1-5.
- [21] HOSODA K, MURAKAMI H, SAKAIDA F, 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.
- [22] SAKAIDA F, HOSODA K, MORIYAMA M, et al. Sea surface temperature observation by Global Imager (GLI)/ADEOS-II: Algorithm and accuracy of the product[J]. *Journal of Oceanography*, 2006, 62(3): 311-319.
- [23] WENTZ F J, GENTEMANN C, SMITH D, et al. Satellite measurements of sea surface temperature through clouds[J]. *Science*, 2000, 288(5467): 847-850.
- [24] UDAYA B T V S, JAYARAM C, RAMA R E P. Comparison between Argo-derived sea surface temperature and microwave sea surface temperature in tropical Indian Ocean[J]. *Remote Sensing Letters*, 2013, 4(2): 141-150.

## SST Analysis of Temporal and Spatial Distribution and Change Characteristics in the South China Sea and Its Adjacent Waters

SUN Wei-fu<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>1</sup>, MENG Jun-min<sup>1</sup>, WANG Jin<sup>2</sup>, MIAO Jun-wei<sup>3</sup>

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *College of Physics, Qingdao University, Qingdao 266071, China;*

3. *College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)*

**Abstract:** Based on the SST data produced by China through merging multi-source satellite data from 2003 to 2015, the SST spatio-temporal distribution and variability characteristics in the South China Sea and its adjacent waters are analyzed. The spatial pattern is characterized by the higher SST in the southern part and the lower one in the northern region. When the latitude decreases by 1°, SST increases by about 0.19 °C (0.30 °C) for the whole study area (the region near equator). The spatial distribution of SST regional maxima shows obvious seasonal variations. In winter, the maxima are found in the south of 5°N; in summer, the maxima are located in the north of 15°N; in spring and autumn, the positions of maxima are between those of winter and spring, and they are slightly toward the north (south) part of the South China Sea in autumn (spring). Analysis of temporal variability shows that SST in the study area increases with a rate of about 0.04 °C/a. The rate is <0.04 °C/a in the southern part of SCS, and >0.05 °C/a in the coastal waters due to the impact of human activities, whereas no significant SST variability is found in the estuary due to the impact of river runoff with low temperature.

**Key words:** SST; remote sensing; radiometer; South China Sea

**Received:** May 11, 2017