

吕宋海峡及其周边海域海表温度的季节变化特征

王代锋¹, 胡建宇^{1,2*}

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

摘要: 利用海表温度的遥感资料, 分析了吕宋海峡及其周边海域海表温度的季节变化及其区域特征, 并初步分析了其主要特征的形成原因。研究结果表明: 冬季海表温度除受太阳辐射、东北季风的影响外, 还受该区域海流、海陆分布的影响, 因此温度场呈现出多个水舌结构; 夏季海表温度空间分布较均匀, 冬季的水舌结构基本消失; 同时在台湾海峡西岸以及吕宋岛东、西两侧海域分别出现上升流导致的低温区和大于 30.0 °C 的高温区, 后者主要受海面辐射、海流等的影响。绝大部分研究海域内的海表温度极大值出现在 7 月, 但在吕宋岛以西海区、台湾海峡中北部海区海表温度极大值分别出现在 5 月和 8 月; 相对而言, 海表温度的极小值主要出现在 1 月, 研究区域东北部 124°~126°E 海域推迟到 2 月。

关键词: 海表温度; 吕宋海峡周边海域; 季节变化特征

中图分类号: P 731.11

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2012)01-0084-07

海表温度(SST)是我们认识、研究海洋的一个基本的、重要的参数, 为水团、环流、海洋锋、海水混合、上升流等海洋学研究提供一种较为直观的参考量, 所以, 了解研究区域海表温度场的特征至关重要。

吕宋海峡是连接西太平洋与南海、台湾海峡的重要通道。多年来, 已有许多学者利用 SST 历史航次的调查及海洋站等现场实测资料研究吕宋海峡及周边海域 SST 的季节变化特征及一些基本统计特征^[1-5]。虽然, 现场 SST 资料的精度较高, 但这些资料存在一些缺陷, 如: 空间上特别离散, 有些海区资料缺乏, 时间上也没有很大的连续性, 各地观测次数也不尽相同, 现场测量的 SST 采样深度也不一致。因此, 现场 SST 资料难以详细地、系统地给出整个海区海表温度场的分布情况, 也难以研究 SST 的月变化与季节变化特征。

有学者利用气候态平均的 Levitus 资料分析了整个南海 0~200 m 共 10 个层次的季平均温度分布情况^[6], 使我们对海区温度分布情况及吕宋冷涡等有了一定的了解。黄志达等^[7]利用 2008 年秋季 Argo 浮标剖面资料, 给出断面 20.5°N, 114°~130°E, 0~500 m 温度、盐度分布特征, 使我们对该断面水文特征等有了更深入的了解。为了加深对吕宋海峡及周边 SST 特征(特别是 SST 的月变化与季节变化特征)的认识, 本文以日本东北大学提供的 NGSST-O (new generation

sea surface temperature for open ocean)^[8-9] 2003 年 9 月—2009 年 8 月的 SST 资料为基础, 分析了研究区域(图 1)SST 的季节变化特征等, 并初步分析了一些特征的形成原因。

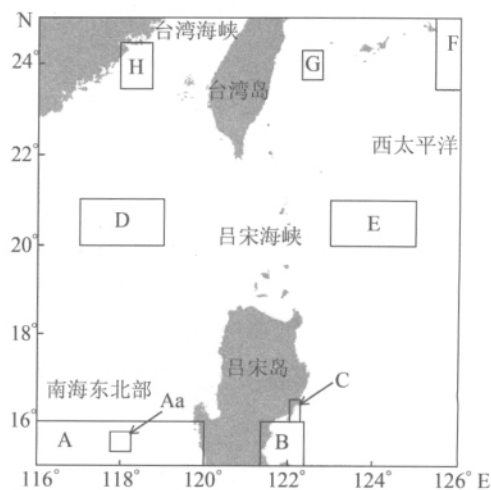


图 1 研究区域地形及代表区域位置分布图

Fig. 1 Topography of study area and distribution of the representative regions

1 资料来源

本文利用的资料选取日本东北大学大气海洋研究中心提供的 SST 数据(NGSST-O)。这里首先对所提供的 SST 数据进行切割, 得到研究区域(15°~25°N, 116°~126°E)2003 年 9 月—2009 年 8 月逐日 SST 资

收稿日期: 2011-04-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)(2007CB411803, 2009CB421208); 国家自然科学基金项目(40821063)

* 通信作者: hujy@xmu.edu.cn

料,然后,对数据进行了质控。

NGSST-O 的优点是,它是基于卫星红外辐射计(AVHRR,MODIS)和微波辐射计(AMSRE)SST 遥感资料,经过云层剔除、质量控制、客观融合而成的新一代 SST 遥感产品,数据连续性很好。该资料具有 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 的高空间分辨率。

需要指出的是,Sakaida 等^[9]将 NGSST-O 全区($13^{\circ} \sim 63^{\circ} \text{N}$, $116^{\circ} \sim 166^{\circ} \text{E}$)2002 年 7 月至 2008 年 7 月的资料与浮标现场资料进行对比,得出该资料的均方根误差(RMSE)约为 0.9°C ,偏差(Bias)保持在 -0.1°C 。同时,也有学者对部分海区 NGSST-O 资料质量进行了评估,如,为了检验和评估一些遥感 SST 产品是否能作为近海和陆架海海洋预报的数据同化资料或初始条件,Xie 等^[10]将 2005 年 10 月—2006 年 9 月 $20^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$, $116^{\circ} \sim 135^{\circ} \text{E}$ 范围内 5 种(WMOISST、NGSST、OSTIA、FSTIA、EMSST)不同的 4 级产品进行相互比较,同时,也与现场数据进行了对比,指出:与船测资料和浮标资料相比,NGSST 偏差约 0.2°C ,与浮标资料的 RMSD 为 0.91°C 。Guan 和 Kawamura^[11]介绍了 NGSST 产品的生成方法,并对其进行了评估,结果显示该数据与浮标数据计算得出的标准偏差为 0.95°C 。Kim 等^[12]将东海和西北太平洋的 TMI、AMRS-E、NGSST-O 数据与现场数据进行了对比,结果显示:在绝大多数弱风条件下,NGSST-O 与 XBT/CTD 现场资料计算的 RMSE 为 0.7°C 。到目前为止,不同海区 NGSST-O 数据的应用也是比较广泛的^[13-15]。可见,在误差允许范围内,NGSST-O 资料基本上能反映出研究区域内 SST 的基本特征。

2 结果分析

2.1 SST 的季节变化特征

1) 冬季(12 月、1 月、2 月)

图 2 给出了研究区域 12 个月 6 年平均海表温度场的分布图。冬季(12 月、1 月、2 月)海表温度场的分布总体来看,12 月等温线相对 1 月、2 月等温线稀疏,但冬季 3 个月等温线的分布结构相似。研究区域 SST 从北到南逐渐升高,南北温差达全年最大,最大为 10.0°C 。12 月、1 月、2 月研究区域 SST 的变化范围分别为 $20.6 \sim 28.3^{\circ} \text{C}$ 、 $18.0 \sim 27.6^{\circ} \text{C}$ 、 $17.8 \sim 27.8^{\circ} \text{C}$ 。

因浅海热容量小,同时受大陆气温的影响大,降温快且幅度大,再加上浙闽沿岸流冷水系的影响,台湾海峡西部近岸海域的 SST 较低,等温线除沿岸向西南延伸,还部分向东南弯曲。受黑潮分支暖水系的影响,台

湾海峡东部近岸海域的 SST 较高,等温线向西北弯曲。因此,台湾海峡的等温线分布密集,水平温度梯度大。

吕宋海峡及吕宋岛以西海域,等温线大体呈东北—西南走向,SST 东南高、西北低。吕宋海峡及吕宋岛以东海域,等温线相对以西海域稀疏。受黑潮的影响有一西北向暖水舌从吕宋岛东岸起至吕宋海峡,这一暖水舌在冬季各月份都存在。可见,吕宋海峡以东海域,SST 受到黑潮的影响。

2) 春季(3 月、4 月、5 月)

图 2 中春季各月份(3 月、4 月、5 月)海表温度场的分布与冬季较为相似,整个海区春季平均 SST 较冬季平均 SST 普遍回升,研究区域内台湾海峡北部升温最快、西太平洋东北部海域升温最慢,平均幅度分别为 3.7 和 0.9°C 。

春季各月份,台湾海峡等温线逐月稀疏,水平温度梯度仍然较大。吕宋海峡以东、台湾岛东侧暖水舌仍清晰可见,吕宋海峡以西海域等温线逐渐与纬向平行。

3) 夏季(6 月、7 月、8 月)

图 2 中夏季各月份(6 月、7 月、8 月)温度分布与冬、春季明显不同。受太阳辐射的影响,海区整体升温,SST 高且分布比较均匀,南北温差最小,最小温差为 2.0°C ,出现在 8 月份。

台湾海峡夏季各月份的等温线相对冬、春季稀疏,水平温度梯度仍然存在,但相对冬、春季小。与冬季不同,台湾海峡中部海域部分等温线向东北延伸,可能是由南海暖流向台湾海峡延伸^[16]引起的;而台湾海峡东侧等温线向西北弯曲程度逐渐减弱;与此同时,台湾岛东侧暖水舌也逐渐消失;另外,7 月、8 月台湾海峡西岸出现一个低温区,这是因为夏季整个区域盛行西南季风,在台湾海峡西部近岸海域形成的上升流所引起的。

夏季各月份,吕宋海峡附近冬、春季所存在的暖水舌逐渐减弱至消失,可能的原因是,夏季太阳辐射对 SST 的影响占主导,海流(如黑潮)对其影响变小。吕宋岛以西和以东海域出现大于 30.0°C 的高温区。

4) 秋季(9 月、10 月、11 月)

图 2 中秋季各月份(9 月、10 月、11 月)海表温度场的分布逐渐从夏季分布特征向冬季分布特征过渡。

9 月温度分布主要受太阳辐射的影响,大致与夏季相同,不同在于,台湾海峡西岸因上升流所引起的低温区在秋季消失,台湾海峡中部等温线向东北延伸的现象不明显。10 月、11 月,海表温度场分布特征逐渐与冬季相似。

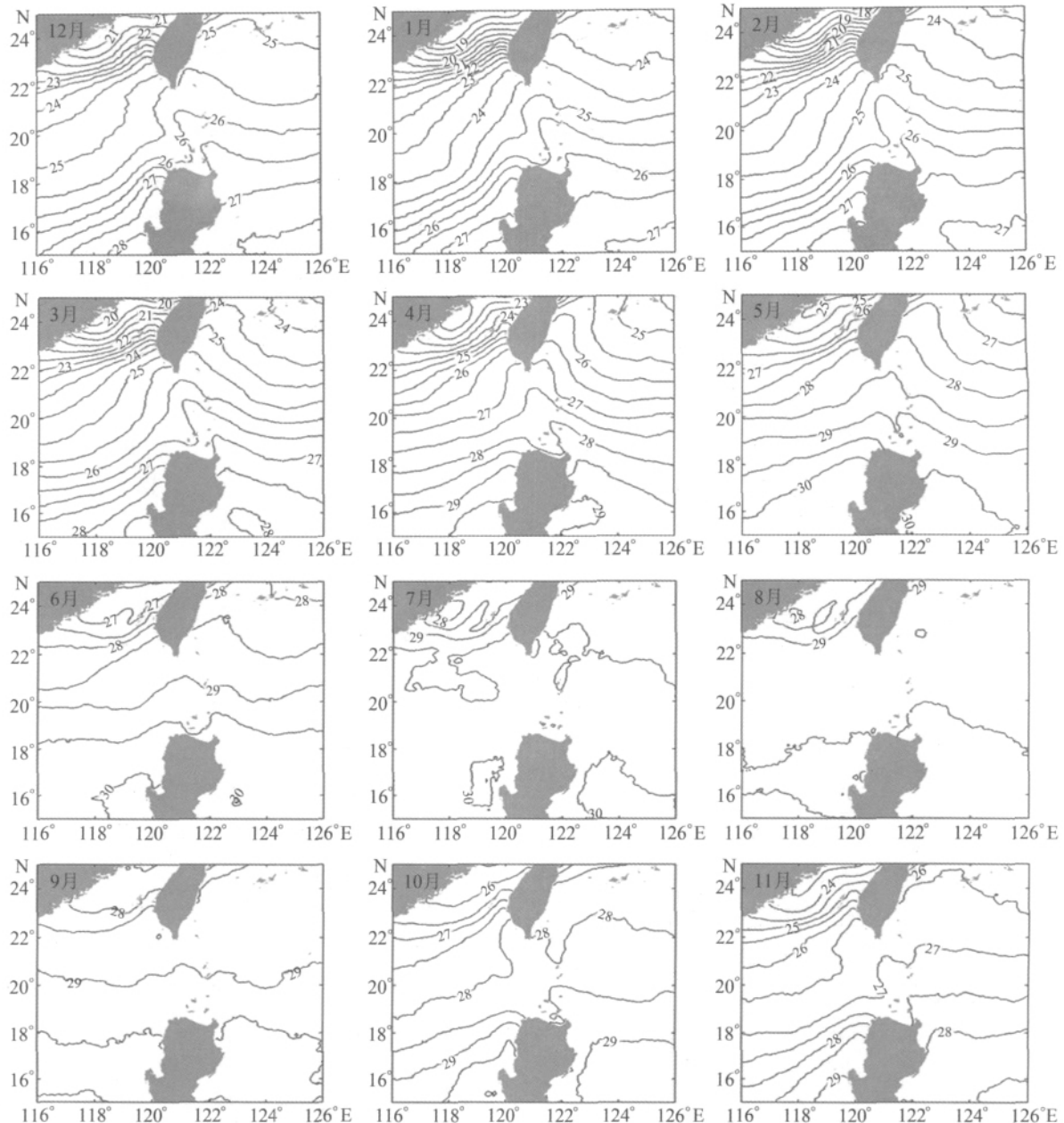


图2 研究区域各月份 SST 分布

Fig. 2 Monthly SST distribution in the study area

2.2 SST 极值出现月份的区域性特征

利用 6 年月平均 SST 数据,分别统计出 SST 最大值和最小值出现的月份,其分布如图 3(a),(b)所示。

图 3(a)中,正方形(■)、五角星(★)、实点(●)和右三角形(►)分别代表 6 年月平均 SST 最大值出现在 5 月、6 月、7 月和 8 月。由图 3(a)可知,大部分海域最高温度出现在 7 月。但台湾海峡北部最高温度出现在 8 月,南部最高温度出现在 7 月。台湾岛以东,部分海域最高温度出现在 8 月,部分海区最高温度出现在 7 月。吕宋海峡及其以西、以东海域最高温度出现在 7 月。吕宋岛西侧大部分海区最高温度出现在 5 月,东侧最高

温度出现在 5 月或 6 月。

夏季整个台湾海峡表层是东北向海流,主要包括:沿着台湾海峡中部的南海暖流、沿着台湾海峡西部的沿岸流和穿过澎湖水道的黑潮分支^[16]。由于台湾海峡西部的沿岸流的最高温度出现在 8 月,黑潮分支的最高温度出现在 7 月^[2],南海暖流在台湾海峡南段延伸区最高温度出现在 7 月,所以,受海流的影响,存在着如图 3(a)所示的台湾海峡最高温度出现在 7 月和最高温度出现在 8 月的一条分界线。

最高温度出现在 5 月的海区集中在吕宋岛两侧。研究区域 18.2°N 以南,气候态平均海面辐射^[17]最高

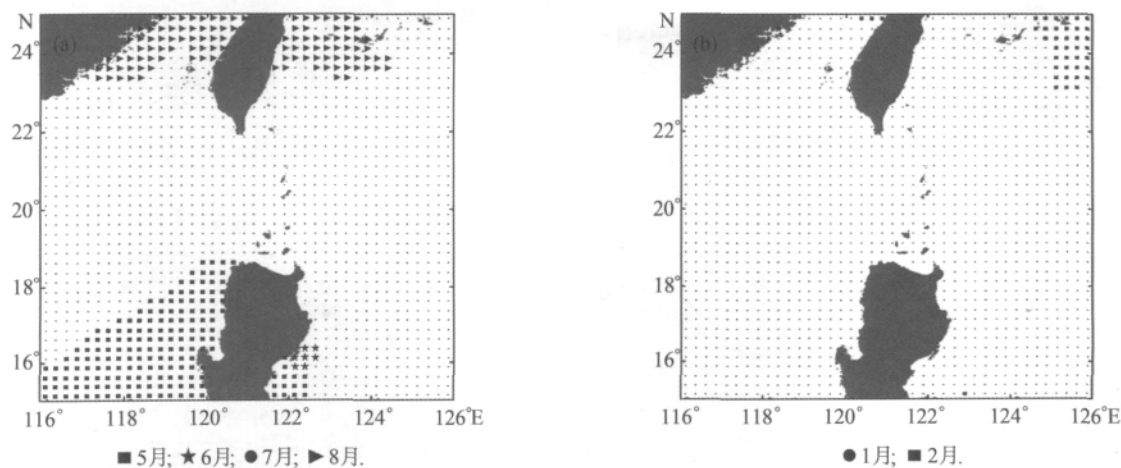


图3 SST最大值(a)和最小值(b)出现的月份分布

Fig. 3 Distribution of month that appears maximum SST (a) and minimum SST (b)

出现在4月,其次是5月,而该海区最高温度出现在5月,表明该处SST受海面辐射影响有一定的延迟。

另外,吕宋岛西侧海域6年平均SST最高值出现在5月和7月,而没有出现在6月,但从图4所给出的区域Aa(图1)2004—2008年以及6年平均SST季节变化情况可以看出,2004、2005年SST最高值出现在5月,2006、2007年最高温度出现在6月,6年平均的6月SST值较5月低,所以6年平均SST最高值出现在5月。也就是说,虽然吕宋岛以西海域6年平均的SST最高值出现在5月和7月而没有出现在6月,但是,这6年中有些年份的SST最高值仍可出现在6月。

图3(b)给出了研究区域6年月平均SST最小值出现的月份分布,其中实点和正方形分别表示SST最小值出现在1月和2月。图3(b)中大部分海区最低温度出现在1月,只有台湾岛西北近岸海域以及研究区域东北部 $124^{\circ}\sim 126^{\circ}\text{E}$ 的SST最小值推迟到2月。

2.3 SST季节变化的区域分布特征

根据6年平均SST极值出现的月份,可以看出,不同海区极值出现的月份有所不同,为此,我们在研究区域内选出8个代表性的区域(图1)来分析6年平均SST的季节变化特征(图5)。

A、B两区域分别代表吕宋岛西、东两侧海域,对应的SST最大值出现在5月、最小值出现在1月。两区域SST季节变化的振幅均很小,最大仅 3.4°C 。两区域过程曲线略有不同,区域A的1—5月、8—10月属于增温期,在10月达到SST次最高,其他月份属降温期,SST变化曲线呈现双峰结构。区域B 1—5月属增温期,其他月份属降温期。

区域C在吕宋岛东侧,离区域B较近,是SST最

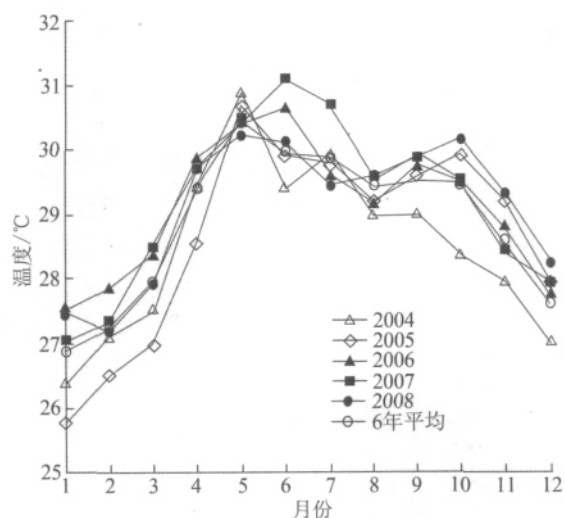


图4 区域Aa 2004—2008年以及6年平均SST变化曲线

Fig. 4 Series of SST variation in the years from 2004 to 2008 and 6-year averaged at the area Aa

大值出现在6月的代表区域,该区域1—6月属增温期,其他月属降温期。5—8月SST降幅甚小,仅 0.1°C ,有峰变化平缓、谷变化尖锐的特点。

D、E两区域分别位于南海和西太平洋,两区域SST最大值均出现在7月,最小值出现在1月,因此1—7月属于增温期,其他月份属降温期。区域D的SST季节变化振幅略比区域E大,主要是因为区域D位于南海而区域E位于西太平洋。

区域F位于研究区域东北部,该区域SST最小值出现月份推迟到2月,所以2—7月属于增温期。

G、H两区域分别位于台湾岛东侧和西侧海域,且SST最大值均出现在8月,最低值均出现在1月,两区域1—8月属于增温期,其他月份属于降温期,且4—5

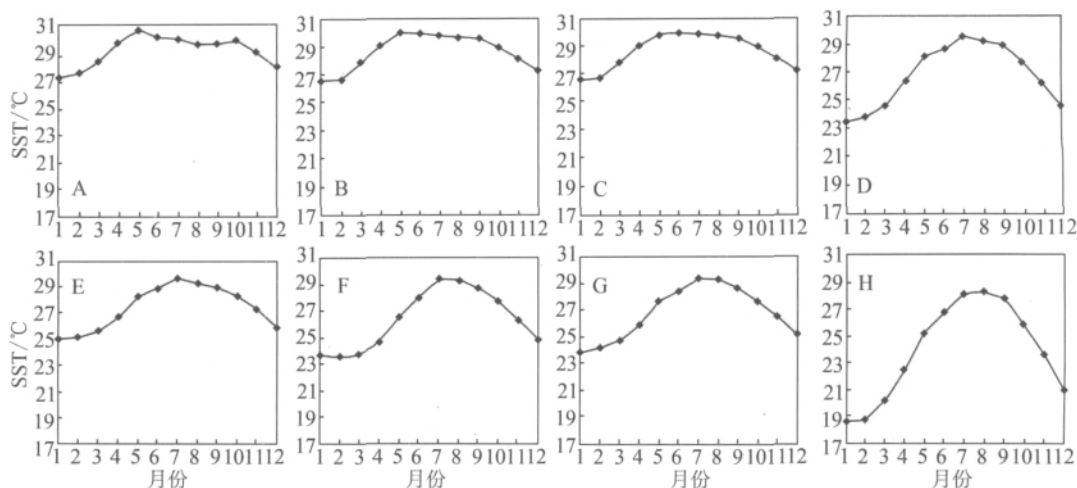


图 5 8 个代表区域 SST 季节变化曲线

Fig. 5 Series of SST seasonal variation of eight representative regions

月增温最大、11—12 月降幅最大. 区域 H 的 SST 季节变化振幅较其他几个区域大, 可达到 9.6°C .

图 6 给出了研究区域 6 年平均 SST 季节变化的振幅分布图. 由图可知, 等振幅线总体上由西北向东南递减, 吕宋海峡以西海域同一纬度振幅是西高东低, 吕宋海峡以东海域同一纬度的振幅则是西低东高.

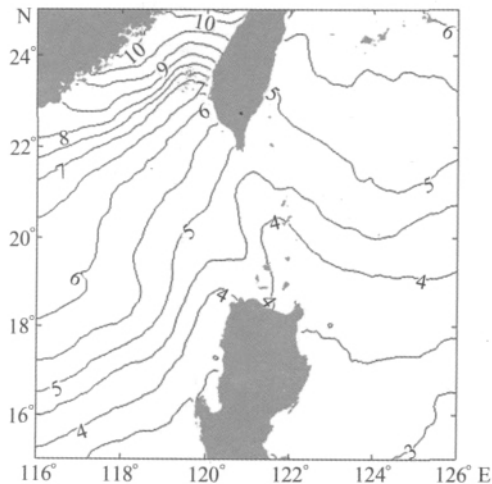


图 6 SST 季节变化的振幅分布

Fig. 6 Amplitude distribution of SST seasonal variation

受大陆气候、浅水效应以及沿岸流等因素的影响, 台湾海峡西部近岸的 SST 的季节变化振幅较大, 同时, 受黑潮分支影响, 台湾海峡东侧海域等值线向西北弯曲, 台湾海峡的振幅等值线密集. 研究区域黑潮和吕宋沿岸流在等振幅线中清晰可见, 冬季各月份海表温度场分布图中出现的水舌形状在振幅分布图中也体现出来.

年际变率为描述某气象要素(这里为 SST)的月

或年平均在不同年之间变化的量. 一般表示为方差与平均值的比, 用百分数表示. 图 7 给出了研究区域内 SST 振幅年际变率分布情况. 从图 7 中可以知道研究区域内年际变率最大出现在台湾海峡北部及吕宋岛最南端西侧海域, 最大值超过 30%, 其次是吕宋岛西部沿岸海域; 台湾岛以东海域、吕宋海峡以及吕宋岛东部大部分海域 SST 振幅年际变率较小.

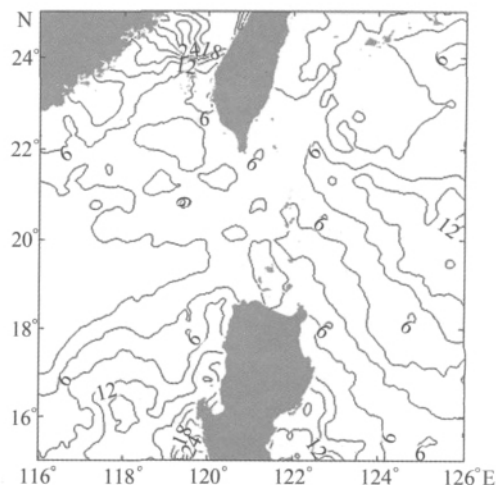


图 7 SST 振幅年际变率百分比分布图

Fig. 7 Distribution of interannual variability of SST amplitude

2.4 SST 的主成分分析

本文对 2003 年 9 月—2009 年 8 月 NGSST-O 数据进行了时间 EOF 分解, 可以得到 SST 方差变化的特征空间模态和对应的时间系数. 经计算, 研究区域内海表温度场的 EOF 分析前 7 个模态均能通过显著性检验, 其方差贡献率见表 1. 由表 1 可见, 前 7 个模态的方差累计贡献率达 95.19%. 在这里, 主要考虑第一

模态的空间和时间特征。

由图 8(a)可知,第一模态在整个研究区域均具有一定的相关性,表明研究区域内 SST 变化趋势在空间上整体一致性好;从第一模态的空间分布情况,受黑潮等海流的影响明显. 图 8(b)是第一模态所对应的时间变化系数,时间变化系数为正时,整个海区 SST 下降,时间变化系数为负时,整个海区 SST 上升. 图 9 为对第一模态对应时间系数进行谱分析的结果,可以看出主要变化周期依次为 1 年、1 年半及半年。

表 1 EOF 分析的前 7 个模态的特征值及方差贡献率

Tab.1 The first seven eigenvalues and the contributions of the EOF modes to variance obtained by EOF analysis

特征根序号	贡献率/%	累计贡献率/%
1	87.39	87.39
2	3.79	91.18
3	1.64	92.82
4	0.80	93.62
5	0.65	94.27
6	0.57	94.84
7	0.35	95.19

3 结 论

本文对 2003 年 9 月至 2009 年 8 月 SST 资料进行处理,得到吕宋海峡及周边海域 6 年平均逐月 SST 的分布;分析了 SST 的季节变化及其区域特征,表明:

- 1) 研究区域 SST 分布的季节特征可分为冬季型和夏季型,春、秋季 SST 分布主要与冬季相似。
- 2) 冬季各月份, SST 的月变化较小. 吕宋海峡以西海域 SST 除受太阳辐射、东北季风的影响外,还受该区域海流、海陆分布的影响. 吕宋海峡以东海域 SST 除受太阳辐射影响外,主要受黑潮影响. 受海流的影响,整个海区海表温度场表现出多个水舌结构。
- 3) 夏季各月份,海表温度场的分布与冬季明显不同. 夏季各月份 SST 分布较均匀,冬季所出现的水舌基本消失. 台湾海峡中部 SST 还受南海暖流的影响. 台湾海峡西岸出现因上升流引起的低温区. 吕宋岛东、西两侧海域均出现大于 30.0℃的高温区。
- 4) 台湾海峡北部 SST 最大值出现在 8 月,南部出现在 7 月. 吕宋岛东、西两侧部分海域最高温度出现在 5 月和 6 月. 其他海区 SST 最大值出现在 7 月。

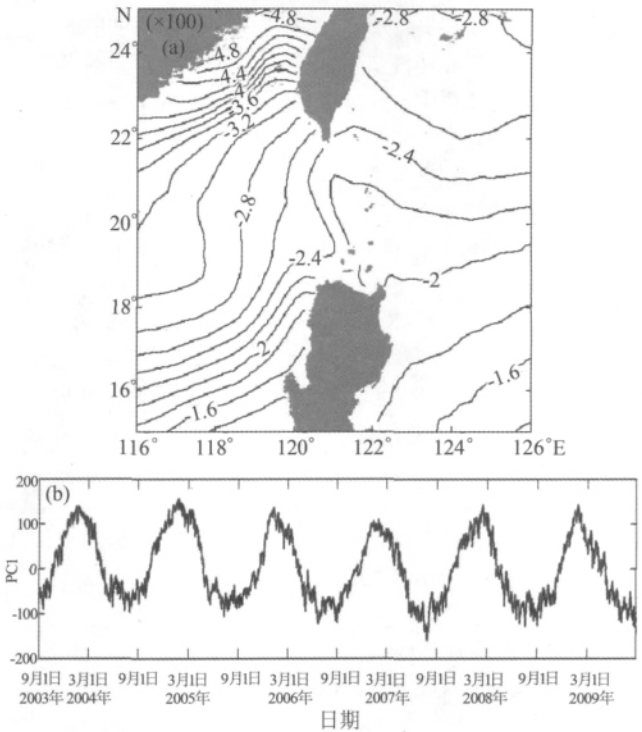


图 8 EOF 分析第一模态空间分布以及时间变化系数
Fig. 8 The spatial distribution and time-varying coefficient of the first mode obtained by EOF analysis

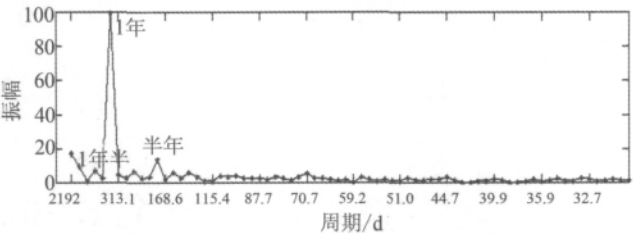


图 9 EOF 分析第一模态时间变化系数的谱分析
Fig. 9 The spectral analysis for the time-varying coefficient of the first mode obtained by EOF analysis

- 5) SST 最小值主要出现在 1 月,但研究区域北部的部分海域 SST 最小值推迟到 2 月。
- 6) 不同海区 6 年平均 SST 变化曲线有所不同. 如吕宋岛西侧代表区域的双峰结构,升温期包括 1—5 月、8—10 月,在 10 月达到 SST 次最高。
- 7) SST 季节变化的等振幅线分布表明振幅由西北向东南递减,台湾海峡等值线密集. 吕宋沿岸流、黑潮在 SST 振幅分布图中也能体现出来,它们流经区域 SST 季节变化的振幅相对较小,等振幅线呈多个舌状分布。

致谢:SST 资料由日本东北大学大气海洋研究中心提供,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 国家海洋局海洋科技情报研究所二室. 台湾海峡及邻近海区的水文概况——海水温度、盐度和表层流特征[J]. 台湾海峡, 1982, 1(1): 8-10.
- [2] 洪启明, 曾刚, 张炳楷. 台湾海峡及其邻近水域表层海水温度的调和分析[J]. 海洋预报, 1987, 4(1): 35-41.
- [3] 于文泉. 南海北部海面水温场的分析[J]. 海洋预报, 1987, 4(1): 61-67.
- [4] 曾刚. 巴士海峡水文特征的差异分析[J]. 台湾海峡, 1995, 14(4): 379-385.
- [5] 刘金芳, 邓冰, 佟凯, 等. 巴士海峡水文要素特征分析[J]. 海洋预报, 2001, 18(2): 22-29.
- [6] 杨海军, 刘秦玉. 南海上层水温分布的季节特征[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(5): 501-507.
- [7] 黄志达, 胡建宇. 利用 Argo 浮标资料分析横跨吕宋海峡 20.5°N 断面的水文特征[J]. 台湾海峡, 2010, 29(4): 539-546.
- [8] Kawamura H. New generation sea surface temperature for open ocean Ver. 1. 0 real-time demonstration operation [DB/OL]. [2011-04-20]. <http://www.ocean.caos.tohoku.ac.jp/~merge/sstbinary/actvalbm.cgi>.
- [9] Sakaida F, Kawamura H, Takahashi S, et al. Research and development of the new generation sea surface temperature for open ocean (NGSST-O) product and its demonstration operation[J]. Journal of Oceanography, 2009, 65: 859-870.
- [10] Xie J P, 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: 1286-1293.
- [11] Guan L, Kawamura H. Merging satellite infrared and microwave SSTs: methodology and evaluation of the new SST [J]. Journal of Oceanography, 2004, 60(5): 905-912.
- [12] Kim E J, Kang S K, Jang S T, et al. Satellite-derived SST validation based on in-situ data during summer in the East China Sea and western North Pacific[J]. Journal of Ocean Science, 2010, 45(3): 159-170.
- [13] Jeon W B, Lee H W, Lee S H. Numerical study on the impact of SST initialization on regional circulation and air pollution at southern Korean Peninsula[C]//2010 American Geophysical Union Fall Meeting. California, USA: American Geophysical Union, 2010.
- [14] Jo Y H, Yan X H, Li F L. Potential application of geostationary ocean color imagery for physical-biological interactions[J]. Proceeding of SPIE, 2010, 7861: 78610C.
- [15] Lee S H, Ryu C S. Influence of continuous satellite-based SST distribution on heavy snowfall events over the Korean Peninsula[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(11): 2853-2883.
- [16] 胡建宇, 刘敏士. 夏季台湾海峡南部海区的海流结构[J]. 热带海洋, 1992, 11(4): 42-47.
- [17] 陈锦年, 何宜军, 王宏娜, 等. 中国近海海面热平衡[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.

SST Seasonal Variation Characteristics in Luzon Strait and Its Around Seas

WANG Dai-feng¹, HU Jian-yu^{1,2*}

(1. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University,

2. State Key Laboratory of Marine Environment Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In this paper, we use remote sensing data to study the seasonal variations of SST in Luzon Strait and its around area, and preliminarily analyze the cause for some of the main characteristics. The research results indicate that in winter, besides solar radiation and the northeasterly monsoon, the factors that influence SST in the west and east of Luzon Strait is the sea surface currents and the distribution of sea and land, thus the SST field of the whole area displays several tongue-shaped structures; and in summer, SST is evenly-distributed, and the wintertime tongue-shaped structures disappear; the SST in the central Taiwan Strait is also affected by the South China Sea Warm Current; and there is a cold zone along the coast in the western Taiwan Strait due to the coastal upwelling; at the same time, there are two higher SST zones in the east and west of Luzon Island. Those SST variation characteristics are mainly influenced by solar radiation and currents. In most study area, the maximum SST occurs in July, some in May and August and part in June. Relatively speaking, in the most of the study area, the minimum SST appears in January, with only a small area in the northeastern study area in which it is put off to February.

Key words: SST; seas around Luzon Strait; seasonal variation characteristics