

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20180718.001

姜雯斐, 虞兰兰, 于清溪, 等. 气候变化背景下渤海海温时空特征分析[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(3): 216-221.

JIANG W F, YU L L, YU Q X, et al. Spatio-temporal analysis of the sea surface temperature in the Bohai and Yellow Seas under the background of climate Change[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2018, 34(3): 216-221.

## 气候变化背景下渤海海温时空特征分析\*

# Spatio-temporal Analysis of the Sea Surface Temperature in the Bohai and Yellow Seas under the Background of Climate Change

姜雯斐<sup>1,2</sup>, 虞兰兰<sup>1,2</sup>, 于清溪<sup>1,2</sup>, 江宇<sup>3</sup>, 焦艳<sup>2,4\*\*</sup>

JIANG Wenfei<sup>1,2</sup>, YU Lanlan<sup>1,2</sup>, YU Qingxi<sup>1,2</sup>, JIANG Yu<sup>3</sup>, JIAO Yan<sup>2,4</sup>

(1. 国家海洋局北海信息中心, 山东青岛 266061; 2. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东青岛 266061; 3. 91049 部队, 山东青岛 266000; 4. 国家海洋局北海预报中心, 山东青岛 266061)

(1. North China Sea Data & Information Service of State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao, Shandong, 266061, China; 3. 91049 PLA Troops, Qingdao, Shandong, 266000, China; 4. North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266061, China)

**摘要:**【目的】研究渤海海温时空变化特征及其与全球海温的关系。【方法】采用相关分析、小波分析等方法, 对 1985—2015 年渤海海洋站的海温观测资料进行分析。【结果】渤海是中国内海, 沿海岸线受陆地影响显著, 变化幅度大, 对气温响应快; 黄海作为太平洋的边缘海, 与外海水体交换通畅, 水温变化幅度相对较小, 水温变化与渤海相比具有一定的滞后性; 各站海温变化周期特征不尽相同, 但在 2000 年以后各站均有较为明显的 8 年周期; 渤海海温与全球大部分海域一致, 近 30 年呈现上升趋势, 但上升速率与同纬度太平洋和大西洋相比较低, 黄海海温上升速率高于渤海。【结论】渤海海温具有明显的月际、年际和周期变化特征, 受海陆分布等因素影响渤海海温对气候变暖的响应低于同纬度太平洋和大西洋。

**关键词:** 渤海 海洋站 海温 长期变化趋势

中图分类号: P731.11 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2018)03-0216-06

**Abstract:**【Objective】The paper was devoted to the study of spatio-temporal variation characteristics of sea surface temperature (SST) in the Bohai and Yellow Seas, and its relationship

with global SST. 【Methods】Several mathematical methods, such as the correlation analysis and the wavelet analysis, were used to research the SST observation data obtained from the ocean stations along the Bohai and Yellow Seas from 1985 to 2015. 【Results】The SST along the coast of Bohai Sea, which was the only inland sea of China, was influenced significantly by the mainland, and consequently led to the

收稿日期: 2018-04-23

修改日期: 2018-06-12

作者简介: 姜雯斐(1987—), 女, 学士, 助理工程师, 主要从事海洋环境监测观测大数据的整合分析研究。

\* 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金项目(201505)资助。

\*\* 通信作者: 焦艳(1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事海洋环境要素分析与预报技术研究, E-mail: jiaoyan@bhj.gov.cn.

large amplitude of SST changes and fast response to air temperature. The SST along the Yellow Sea maintained within small change ranges due to the rapid water exchange with the open sea, as the Yellow Sea was the marginal sea of Pacific. The periodic characteristics of SST variations in all the stations were not the same, but the relatively apparent eight year period was found after 2000. The SST in the Bohai and Yellow Seas presented a rising tendency in the past thirty years, with lower rising rate than the ocean area at the same latitude in Pacific and Atlantic, while the rising rate was higher in the Yellow Sea than in the Bohai Sea.

**【Conclusion】**The variations in the Bohai and Yellow seas have a significant feature, such as monthly and annual variations, and a slower response to the Climate Warming than the ocean area at the same latitude in Pacific and Atlantic which results from the land-sea distribution.

**Key words:** the Bohai and Yellow Seas, ocean stations, sea surface temperature, long-term trend

## 0 引言

**【研究意义】**渤海和黄海位于我国海岸线北端,具备独特的自然环境,是我国开发利用最早的海区之一,其渔业、港口、石油、旅游等海洋资源极为丰富。优越的自然环境条件,为沿海地区的经济发展注入了无限生机。海洋环境的变化通过海上运输、海水养殖、海岸工程、海滨旅游等多方面影响社会经济的发展;并通过对水文、生物、地球化学等多方面的改变,影响生态环境的可持续性发展,因此研究渤海海洋环境具有十分重要的意义<sup>[1-3]</sup>。**【前人研究进展】**海水温度作为海洋环境变化最基础、最重要的因子之一,其变化会直接影响海洋动力环境、海洋生态环境,甚至导致区域气候异常。政府间气候变化专门委员会(IPCC)在2013年公布的第五次评估报告中指出:“全球尺度上,海洋表层温度升幅最大。1971—2010年间,气候系统积累能量的90%以上储存在海洋中,海洋上层75 m以上深度的海水温度升幅为每10年0.09~0.13℃。”张松等<sup>[4]</sup>采用EOF方法分析卫星反演的渤海东海海表面温度(SST)资料,发现SST存在冬季5年、夏季4年的显著变化周期,受局地海气相互作用影响比较明显。胡桂坤等<sup>[5-10]</sup>分析了渤海历年海温及相关要素不同季节的实测资料发现,夏季,渤海温跃层强度变化较小,基本维持在一个较低水平,而黄海由于冷水团的存在,温跃层强度较大。黄海冷水团是位于黄海中部洼地的深层和底部的低温高盐季节性水团,黄海冷水团于春季形成、发展,夏季成熟,秋季衰退,冬季消失。黄海冷水团在夏季几乎控制着整个黄海辽阔的海域,对生物群落的分布,渔业资源的获取有着重要

的影响。冬季,黄海断面表底层温度的年际变化则受到局地气温、西北季风强度、黄海暖流、太平洋年代际震荡(PDO)指数位相和ENSO事件的共同影响<sup>[11-13]</sup>。**【本研究切入点】**然而,上述研究所使用的数据多基于卫星遥感资料和再分析数据,这类数据在大陆近海具有较大的不确定性。海洋站资料作为第一手观测资料,更适于近海的海温分析。此外,目前鲜有文献揭示气候变化背景下,渤海海温与全球海温变化的关系。**【拟解决的关键问题】**本研究基于31年(1985—2015年)多个渤海海洋站的SST资料,分析渤海海温的年代际特征,包括时空分布特征,并分析气候变化背景下渤海海温与全球海温的长期变化趋势。

## 1 材料与方法

### 1.1 站点选取

国家海洋局北海分局在渤海沿岸建有海洋观测站,对海洋环境要素进行长期、定点、连续观测。目前北海区共有5个中心站,分管38个海洋观测站(含共建站),部分海洋站具有50年以上的连续观测资料。本研究选取站点原则为具有长期观测资料并在地理位置上具有一定的代表性,故分别选取渤海的葫芦岛站和龙口站,黄海北部靠近渤海海峡的老虎滩站,以及黄海中部的小麦岛和千里岩站,其中千里岩站是海岛站,其他各站为沿岸站,具体位置分布见图1。

### 1.2 数据资料

本研究采用的渤海海温观测数据为1985—2015年渤海海洋站月平均海表面温度(Sea surface temperature, SST)资料。

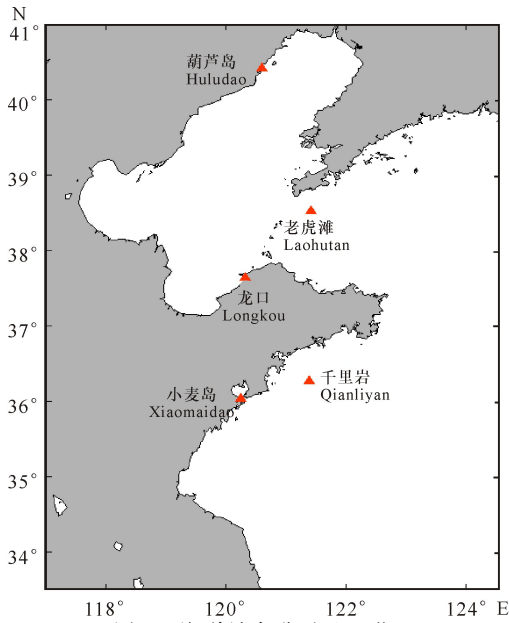


图1 海洋站名称及地理位置

Fig. 1 Names and location of ocean stations

全球海表面温度数据为英国气象局 Hadley 气候变化中心 HadISST1 再分析资料。该数据的空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ；时间分辨率为 1 个月；选取的时间为 1985—2015 年，空间区域为  $60^{\circ}\text{N} \sim 60^{\circ}\text{S}$ 、 $0 \sim 360^{\circ}\text{E}$ ，暂不考虑南北极高纬度海冰覆盖区域的冰温变化。

### 1.3 数据质量控制方法

海洋环境数据质量控制是指通过一定方法、模型和参数，对海洋观、监测数据质量的可靠性与准确性进行判断并标识的过程，是进行数据质量评估的基础。观测数据质量控制的核心是通过分析数据的特征，选择适当的质量控制方法，以提高可疑数据的检出率。

本研究根据海温数据的特性，全面考虑温度资料的各种误差，选用非法码检验、全等性检验、极值检验、一致性检验、海洋环境气候态特性检验、统计特性检验、人机交互图形绘制检验等方法，建立北海区海温观测数据质量控制的方法体系。对 1985—2015 年海洋站 SST 数据进行系统地质量控制，剔除可疑数据后，获得较为可靠的海温数据(图表略)。

## 2 结果与分析

### 2.1 站点资料统计

由于各站建站时间和所处位置不同，为验证海温观测的全面性和相关性，分别对各海洋站的海温资料进行时间跨度统计和空间相关性统计。

葫芦岛、老虎滩和小麦岛海洋站海温资料自

1985 年 1 月至 2015 年 12 月，其中葫芦岛站在 2003 年以前由于冬季海水结冰无 1—3 月数据，老虎滩站 2000—2001 年部分月份资料缺失；龙口、千里岩海洋站海温资料分别自 1986 年 3 月和 1990 年 1 月起进行观测。

对各站海温求同期相关系数，从表 1 的结果来看，各站之间海温相关性较好，均超过 99% 显著性检验。其中，小麦岛与老虎滩的海温相关性较高，主要由于二者所处地理环境比较相似，均位于黄海沿岸，周边水域比较开阔；葫芦岛与千里岩的海温相关性最低，主要原因是二者分属渤海和黄海，前者是沿岸站，后者是海岛站，海陆环境差别较大。

表 1 各海洋站海温相关系数表

Table 1 The correlation coefficient between ocean stations

| 海洋站<br>Ocean<br>stations | 相关系数 Correlation coefficient |               |                 |                   |                  |
|--------------------------|------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|------------------|
|                          | 葫芦岛<br>Huludao               | 龙口<br>Longkou | 老虎滩<br>Laohutan | 小麦岛<br>Xiaomaidao | 千里岩<br>Qianliyan |
| 葫芦岛<br>Huludao           | 1                            |               |                 |                   |                  |
| 龙口<br>Longkou            | 0.76                         | 1             |                 |                   |                  |
| 老虎滩<br>Laohutan          | 0.77                         | 0.79          | 1               |                   |                  |
| 小麦岛<br>Xiaomaidao        | 0.74                         | 0.82          | 0.85            | 1                 |                  |
| 千里岩<br>Qianliyan         | 0.63                         | 0.75          | 0.72            | 0.74              | 1                |

### 2.2 月际变化特征

从单站逐月变化来看(图 2)，葫芦岛和龙口海温 1 月最低，8 月最高，年较差分别为  $26.8^{\circ}\text{C}$  和  $26.6^{\circ}\text{C}$ ；老虎滩海温 2 月最低，8 月最高，年较差为  $19.8^{\circ}\text{C}$ ；小麦岛和千里岩海温 2 月最低，8 月最高，年较差分别为  $20.7^{\circ}\text{C}$  和  $21.2^{\circ}\text{C}$ 。

对比各海洋站，渤海的葫芦岛和龙口站海温均在 1 月达到全年最低，而黄海各站均在 2 月达到全年最低；渤海各站点的海温年较差最大，其次是黄海中部，黄海北部最小；从升降趋势来看，渤海各站点海温 4—6 月升幅最大，10—12 月降幅最大，而黄海各站升温明显的时段较渤海推迟一个月，降温明显的时段较渤海延长一个月。上述特征说明渤海作为中国内海，沿岸海温受陆地影响显著，变化幅度大，且对气温响应更快；而黄海作为太平洋的边缘海，与外海水体交换通畅，水温变化幅度相对较小，且水温变化与渤海相比具有一定的滞后性。

### 2.3 年际变化特征

从海温的年际变化来看，各站均有比较明显的年际变化特征(图 3)。渤海的葫芦岛站由于冬季结

冰,2003年之前无法计算年均值,2004年以后,大致呈“V”字型分布,最高温出现在2007年和2014年,均为 $12.4^{\circ}\text{C}$ ,最低温出现在2010年,为 $11.1^{\circ}\text{C}$ ,平均温度为 $12.0^{\circ}\text{C}$ 。渤海的龙口站平均海温为 $13.9^{\circ}\text{C}$ ,标准差为0.42,最高温 $14.6^{\circ}\text{C}$ (2015年),最低温 $13.2^{\circ}\text{C}$ (1992年)。黄海北部的老虎滩站平均海温为 $11.7^{\circ}\text{C}$ ,标准差为0.57,最高温 $12.6^{\circ}\text{C}$ (2007年),最低温 $10.4^{\circ}\text{C}$ (1986年)。黄海中部的小麦岛站平均海温为 $14.2^{\circ}\text{C}$ ,标准差为0.55,最高温 $15.2^{\circ}\text{C}$ (2007年),最低温 $13.1^{\circ}\text{C}$ (1986年)。千里岩站平均海温为 $14.8^{\circ}\text{C}$ ,标准差为0.49,最高温为 $15.7^{\circ}\text{C}$ (1999年),最低温为 $13.5^{\circ}\text{C}$ (2011年)。

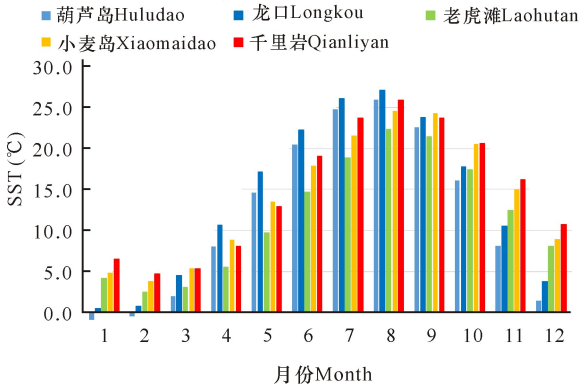
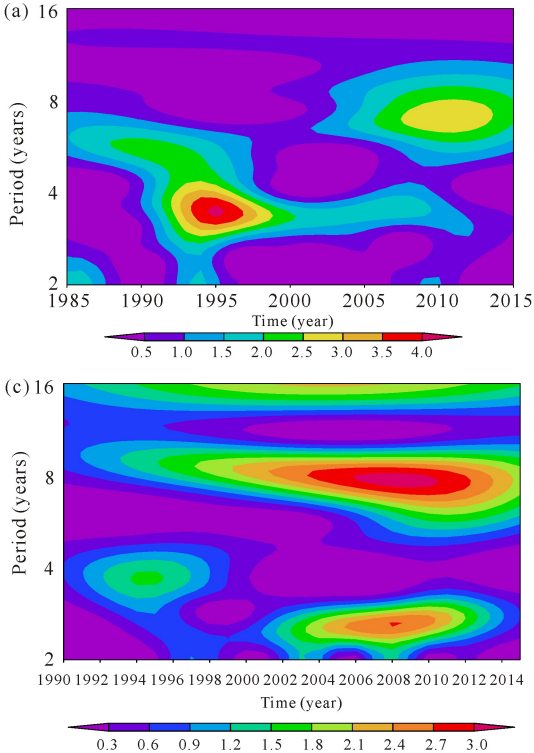


图2 海洋站海温逐月变化

Fig. 2 Monthly variations of SST in ocean stations



(a) 葫芦岛 Huludao; (b) 龙口 Longkou; (c) 千里岩 Qianliyan; (d) 小麦岛 Xiaomaidao

年平均海温从高到低依次为千里岩、小麦岛、龙口、葫芦岛和老虎滩,海温高低主要与海洋站所处的纬度有关,最高的千里岩和最低的老虎滩平均温度差为 $3.1^{\circ}\text{C}$ 。

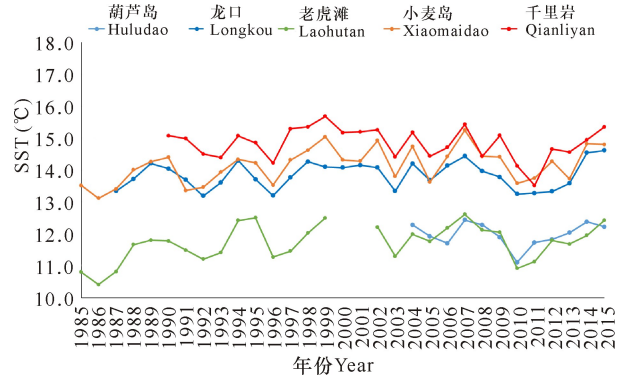


图3 各海洋站海温年际变化

Fig. 3 Annual variations of SST in ocean stations

## 2.4 小波分析

利用小波分析的方法,研究各站海温变化的主要周期分布特征(老虎滩由于2000—2001年部分数据缺失,未对其进行小波分析)。

图4为各站年平均海温的小波分析结果。葫芦岛站在20世纪90年代有明显的3~4年变化周期,2000年以后,8年周期比较显著;龙口站与葫芦岛站

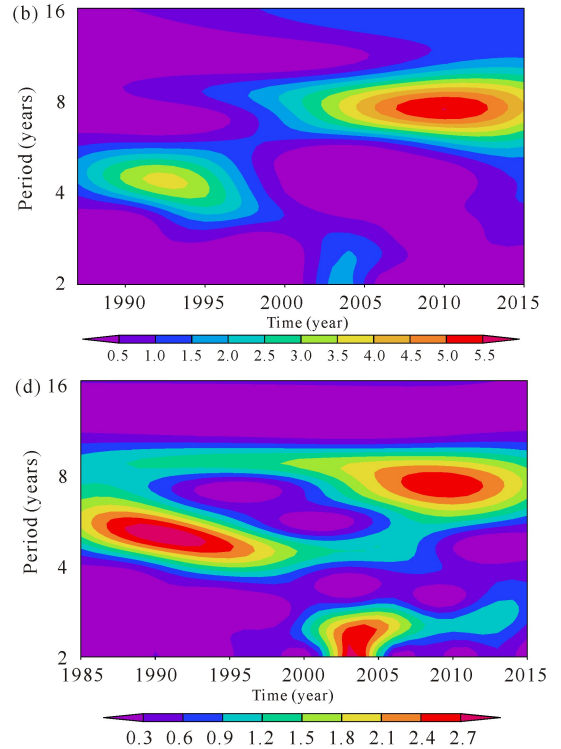


图4 各站年平均海温小波分析功率谱图

Fig. 4 The wavelet power spectrum of SST in the ocean stations

类似,2000年之前4年周期比较明显,2000年之后8年周期显著;千里岩站在2000年之后8年周期显著,同时存在一个3年周期;小麦岛站在2000年前4~5年周期显著,之后8年周期显著,同时在2000—2005年间存在一个2年周期。

### 3 渤海海温与全球海温趋势分析

图5为1985—2015年渤海海温变化趋势,图6为同期全球海温变化趋势(暂不考虑南北极结冰海域的冰温变化)。

由图5可知,渤海海温整体呈上升趋势,升温速率在 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{yr}$ 左右。黄海中南部升温速率较大,东部靠近朝鲜半岛海温略有下降。

从图6可以看出,全球海温升降不一:北大西洋海温上升最为明显,平均升幅约为 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ yr}$ ,南大西洋南部海温有下降趋势;中高纬度的太平洋基本呈现上升趋势,尤其是中西部,上升趋势比较明显,赤道东太平洋也呈上升趋势,而太平洋中东部赤道以北和以南的低纬度海域海温呈下降趋势;印度洋海温呈现上升趋势,且上升速率比较一致; $50^{\circ}\text{S}$

以南的南大洋,海温总体呈下降趋势。

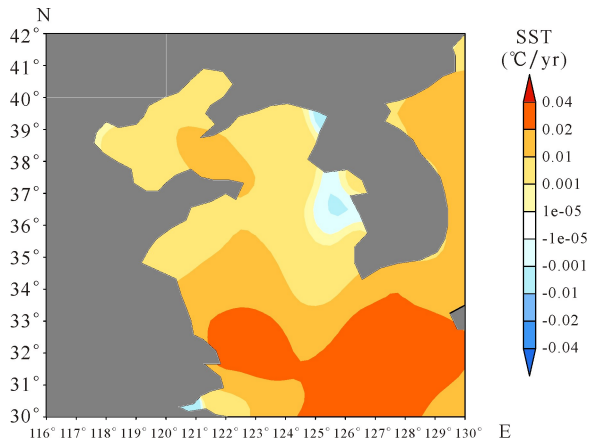


图5 渤海海温变化趋势

Fig. 5 Tendency of SST variation in the Bohai and Yellow Seas

从全球海温变化来看,北半球中纬度洋面总体升温较快。而同纬度的渤海海温虽与其他海域变化趋势一致,但受海陆分布水体交换不畅的影响,海温上升速率较低,黄海南部开阔水域靠近黑潮区的海温上升则比较明显。

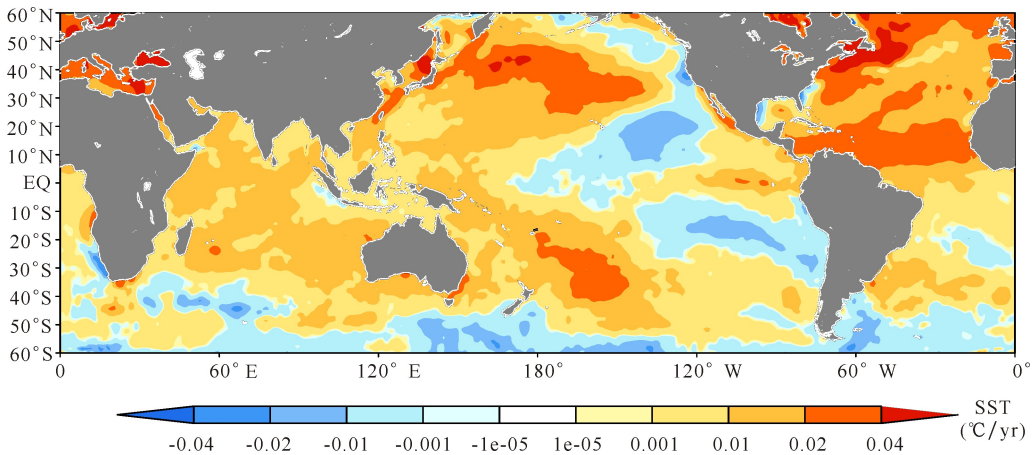


图6 全球海温变化趋势

Fig. 6 Tendency of global SST

### 4 结论

本研究利用渤海海的海洋站观测资料和全球海温再分析资料,对渤海海温时空分布特征及其与全球海温的变化关系进行分析研究。结果表明:(1)渤海作为中国内海,沿岸海温受陆地影响显著,变化幅度大,且对气温响应更快;而黄海作为太平洋的边缘海,与外海水体交换通畅,水温变化幅度相对较小,且水温变化与渤海相比具有一定的滞后性。(2)年平均海温高低主要与海洋站所处的纬度有关,最高的千里岩和最低的老虎滩温差为 $3.1^{\circ}\text{C}$ 。(3)各

站周期特征不尽相同,但在2000以后各站均有较为明显的8年周期。(4)渤海海温与全球大部分海域一样,近30年呈现上升趋势,但上升速率与同纬度太平洋和大西洋相比较低。

本研究主要分析了渤海海温自身的变化规律及其与全球海温变化的关系,并未对渤海海温的影响因子和机制进行讨论,我们将对此进行更加深入的研究。

#### 参考文献:

[1] 葛全胜,刘健,方修琦,等.过去2000年冷暖变化的基

- 本特征与主要暖期[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 579-592.
- GE Q S, LIU J, FANG X Q, et al. General characteristics of temperature change and centennial warm periods during the past 2000 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 579-592.
- [2] 江蓓洁, 鲍献文, 吴德星, 等. 北黄海冷水团温、盐多年变化特征及影响因素[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 1-10.
- JIANG B J, BAO X W, WU D X, et al. Interannual variation of temperature and salinity of northern Huanghai Sea cold water mass and its probable cause[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(4): 1-10.
- [3] 袁杰, 魏凤英, 巩远发, 等. 关键区海温年代际异常对我国东部夏季降水影响[J]. 应用气象学报, 2013, 24(3): 268-277.
- YUAN J, WEI F Y, GONG Y F, et al. Effects of key regional SST inter-decadal anomaly on summer precipitation in Eastern China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2013, 24(3): 268-277.
- [4] 张松, 于非, 刁新源, 等. 渤、黄、东海海表面温度年际变化特征分析[J]. 海洋科学, 2009, 33(8): 76-81.
- ZHANG S, YU F, DIAO X Y, et al. The characteristic analysis on sea surface temperature inter-annual variation in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(8): 76-81.
- [5] 胡桂坤, 王正波, 张青田. 黄渤海夏季水温垂直分布的年代际变化[J]. 海洋信息, 2014(2): 18-22.
- HU G K, WANG Z B, ZHANG Q T. Inter-decadal variation of vertical temperature distribution in the Bohai and Yellow seas in summer[J]. *Marine Information*, 2014(2): 18-22.
- [6] 李昂, 于非, 刁新源, 等. 北黄海冷水团温度年际变化研究[J]. 海洋学报, 2015, 37(1): 30-42.
- LI A, YU F, DIAO X Y, et al. Interannual variability of temperature of the northern Yellow Sea cold water mass[J]. *Haiyang Xuebao*, 2015, 37(1): 30-42.
- [7] 鲍献文, 李娜, 姚志刚, 等. 北黄海温盐分布季节变化特征分析[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(4): 553-562.
- BAO X W, LI N, YAO Z G, et al. Seasonal variation characteristics of temperature and salinity of the North Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(4): 553-562.
- [8] 贺先明, 张元奎. 渤海中南部春、夏、秋季的水温分布特点及年际变化[J]. 海洋预报, 1990, 7(3): 44-50.
- HE X M, ZHANG Y K. Distribution characteristics and interannual variability of the central and southern Bohai Sea temperature in spring, summer and autumn[J]. *Marine Forecasts*, 1990, 7(3): 44-50.
- [9] 贾瑞丽, 苏洁, 胡宪敏, 等. 渤海 B1 断面夏季温盐结构及变化趋势[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(5): 705-711.
- JIA R L, SU J, HU X M, et al. Structure of temperature and salinity and its variation along B1 section during summer[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(5): 705-711.
- [10] 贾瑞丽, 孙璐. 渤海、黄海冬夏季主要月份的海温分布特征[J]. 海洋通报, 2002, 21(4): 1-8.
- JIA R L, SUN L. Distribution features of the Yellow and Bohai Seas temperature in winter and summer[J]. *Marine Science Bulletin*, 2002, 21(4): 1-8.
- [11] 石强. 南黄海冬季温盐年际变化时空模态与气候响应[J]. 海洋通报, 2014, 33(2): 148-156, 162.
- SHI Q. Climate response and spatial-temporal model of the inter-annual change of winter temperature-salinity in the South Yellow Sea[J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(2): 148-156, 162.
- [12] 石强. 北黄海冬季温盐年际变化时空模态与气候响应[J]. 海洋通报, 2013, 32(6): 633-640.
- SHI Q. Climate response and spatial-temporal model of the inter-annual change of temperature and salinity in the north Yellow Sea in winter[J]. *Marine Science Bulletin*, 2013, 32(6): 633-640.
- [13] 石强. 渤海冬季温盐年际变化时空模态与气候响应[J]. 海洋通报, 2013, 32(5): 505-513.
- SHI Q. Climate response and spatial-temporal model on the inter-annual change of temperature-salinity in the Bohai Sea during winter[J]. *Marine Science Bulletin*, 2013, 32(5): 505-513.

(责任编辑:陆雁)