

基于历史和卫星资料的中国近海海表面温度长期变化趋势的综合分析

孟庆佳^{1,2}, 施建伟³, 刘 娜⁴, 王 凡¹

(1. 中国科学院 海洋环流与波动重点实验室 中国科学院 海洋研究所 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100039; 3. 中国人民解放军总参谋部气象水文局, 北京 100081; 4. 国家海洋局 海洋灾害预报技术研究重点实验室, 国家海洋环境预报中心 北京 100081)

摘要: 利用中国科学院海洋研究所“中国海洋科学数据库”历史资料并结合 Pathfinder 卫星遥感资料, 对中国近海的海表面温度(SST)多年变化情况进行了分析讨论, 给出了变化趋势。针对 1963~1996 年和 1985~1996 年两个时间段, 对夏季和冬季中国近海 SST 的长期变化趋势进行了分析。结果表明, 在中国近海除个别海域外, 增温是主要的特征, 其中冬季增温趋势更为明显。对若干代表性海域 SST 的时间序列分析, 表明在外海海域历史资料和卫星资料有较高的一致性, SST 自 80 年代中期以来增温更加显著。

关键词: 中国近海; 海表面温度(SST); 变化趋势; 增温

中图分类号: P731.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)12-0121-06

海表面温度(SST)是海洋热力、动力过程以及海洋与大气相互作用的综合结果, 是影响海面水汽交换和热通量的一个重要因素, 同时也是研究海洋环流、水团、海洋锋、上升流和海水混合等问题的主要参量。近年来, 全球气候变化问题已经得到越来越广泛的关注, 许多专家学者对全球海洋升温现象也进行了诸多的研究。Cane 等^[1]对 20 世纪的 SST 变化趋势进行了分析, 指出赤道太平洋东—西温度梯度逐渐增大。Levitus^[2]在全球和海盆尺度上分析了海洋气候变化时间序列, 给出了 1955~2003 年全球海洋热含量增长情况。但由于观测资料匮乏, 目前国际上对边缘海 SST 的长期变化情况则普遍缺少研究。

中国近海位于北太平洋的西部, 是典型的边缘海, 包括渤海、黄海、东海和南海。很多专家学者对中国近海的温度分布及变化进行了分析。Park 等^[3]利用 COADS 资料, 认为东亚边缘海的 SST 年际变化主要与赤道中太平洋变化有关, 而年代际变化主要与赤道西太平洋相关。鲍献文等^[4]利用 AVHRR 卫星资料认为冬季 SST 明显受海域(水平)流系结构的影响, 夏季则显著地受地形、海角及海水混合引起的低冷海水上升的影响。于非等^[5]利用 AVHRR 卫星资料研究了东海表面温度的长期变化趋势, 发现变异最大的区域在东海北部由长江口至济州岛南部区域。陈永利等^[6]利用 40 a 的历史数据, 分析指出东海冷

涡区存在明显的年际和年代际变化且与黄海暖流、气候跃变关系密切。唐晓晖等^[7]利用历史资料指出在 1957~1996 年期间, 东海北部夏季增温主要是黑潮流量增强的影响, 冬季主要与气候系统变迁有关。由于缺乏长时间的数据观察, 对于中国近海 SST 长期的变化趋势情况, 仍然缺少研究和讨论。鉴于此, 本文主要利用中国科学院海洋研究所“中国海洋科学数据库”多年的温度资料, 并以 Pathfinder 卫星数据加以辅助说明, 对中国近海的 SST 多年变化情况进行了分析讨论。

1 资料及处理方法

本文所研究的中国近海范围为 23°~41°N, 117°~130°E, 主要涵盖渤、黄、东海。历史数据资料则来自中国科学院海洋研究所“中国海洋科学数据库”。该库全面收集整理了我国近海及毗邻洋区的各类原始观测资料, 包括 1957 年以来全国海洋普查数据等历次大规模海洋综合调查的中国海多学科调查数据; 20 世纪 80 年代以来热带西太平洋海气相互作用

收稿日期: 2010-11-01; 修稿日期: 2011-08-08

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-YW-Q11-02, KZCX1-YW-12)

作者简介: 孟庆佳(1983-), 男, 山东淄博人, 博士研究生, 主要从事海气相互作用和气候变化等研究, 电话: 010-84915305, E-mail: mengqingjia@qdio.ac.cn

用等历次大型国际合作调查的中国海、西太平洋的调查数据;以及以 WOD01 为主的来自几十个国家和地区的海洋大面站观测数据(1900 年至今,含南森站、CTD、XBT、MBT、STD、BT 等)。该数据库采用了严格质控方法以消除数据库中重复的、错误的以及人造数据(王凡等^[8])。该数据库曾被用来研究东海的热动力结构(陈永利等)和变暖趋势(唐晓晖等),以及中国海的逆温跃层变化(郝佳佳等^[9])。由于本文研究区域范围较大,在处理资料时将数据库内的数据进行区域平均为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的分辨率。作为对比,我们也分析了 AVHRR Pathfinder SST V4.1 的数据,该数据是 NOAA/NASA 提供的 1985~2002 年月平均 SST,分辨率为 $9.24 \text{ km} \times 9.25 \text{ km}$ (约 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 网格)(Vazquez 等^[10])。

历史资料在时间上分布不均匀,在 1963 年以前和 1996 年以后存在较大缺省,因此本文采用的时间跨度是 1963~1996 年;此外,历史资料在空间上分布也不均匀,在近岸海域缺省较多,而在远岸海域资料相对丰富,因此本文主要对中国近海远岸海域的 SST 变化趋势进行分析。我们将每年的 6, 7, 8 月作为夏季,将 12 月、次年的 1, 2 月作为冬季,在每一网格点的时间序列采用最小二乘法求得线性回归,分别计算夏季和冬季的 SST 变化趋势,单位是 $^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。

2 变化趋势分析

图 1 是基于历史资料的 1963~1996 年中国近海夏季和冬季 SST 的变化趋势分布。从图 1 中可以看出中国近海 SST 变化趋势主要以增温为主,同时存在明显的地区和季节差异。夏季增温的海域占中国近海海域的 72%, 主要集中于闽浙沿岸东海海域、渤海和黄海部分海域(图 1(a))。其中闽浙沿岸、北黄海部分海域增温显著, SST 变化趋势超过 $0.04 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 而东海大部分海域 SST 变化趋势可以达到 $0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。夏季降温的海域主要集中于南黄海东部、山东半岛以南沿岸部分海域,其中南黄海东部降温显著, SST 变化趋势超过 $-0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。冬季的增温海域更大,可以达到 76%, 主要集中于沿岸大部分、东海南部、黄海海域(图 1(b))。其中闽浙沿岸、济州岛附近海域增温显著, SST 变化趋势超过 $0.06 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 东海大部分海域 SST 变化趋势在 $0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 左右。冬季降温海域主要集中于渤海、北黄海以及东海部分海域,其中在 27°N , 124°E 附近有一降温带, SST 变化趋势达到 $-0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。同夏季相比,冬季的增温范围更广、增

温幅度更大,这说明中国近海 SST 的季节循环幅度逐渐减小,这与全球变暖情况下,热带范围扩展,温带向两极靠拢的大趋势是一致的。

由于本文所用卫星资料起始于 1985 年,并且历史资料在 1996 年之后存在部分缺省,因此我们选取 1985~1996 年这一时间跨度的 SST 变化序列来进行资料间的对比分析(图 1(c)和(d))。从图中可以看出中国近海 SST 变化趋势仍然主要以增温为主,增温幅度同样存在地区和季节的差异。夏季增温的海域占 58%, 主要集中于东海远岸海域、北黄海部分海域,其中 31°N , 125°E 附近有一显著增温中心, SST 变化趋势超过 $0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ (图 1(c))。夏季降温海域主要集中于南黄海东南部、对马海峡南部、东海近岸海域,降温幅度可以达到 $-0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。冬季大部分海域呈现增温趋势,范围可以达到 86%, 其中沿岸海域增温显著,另外, 31°N , 125°E 附近 SST 变化趋势超过 $0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ (图 1(d))。冬季降温海域主要是台湾岛东北和东北北部,降温幅度达到 $-0.15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。同图 1(a)和(b)相比, SST 变化趋势的增温幅度显著加大,冬季的 SST 变化趋势空间分布一致性高,只是东海的降温中心偏南;夏季的不同之处主要位于沿岸海域,而在远岸海域变化一致,这可能是由于历史资料在近岸缺省较多,主要集中于远岸的缘故。

Pathfinder 卫星资料 1985~1996 年的中国近海 SST 夏季和冬季的变化趋势表明,中国近海增温显著(图 2)。夏季增温海域达到 96%, 在渤海、山东半岛南部及至长江口海域增温最为显著, SST 变化趋势可以达到 $0.16 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 而东海大部分海域 SST 变化趋势在 $0.04 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 左右。夏季只在南黄海东部海域呈现降温趋势(图 2(a))。冬季增温海域为 93%, 黄海和东海北部海域最为显著, SST 变化趋势可以达到 $0.12 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 而在台湾东北部、长江口附近海域以及东海东北部出现弱降温中心(图 2(b))。

3 两种资料结果的异同及其成因分析

综合比较历史资料和卫星资料,可以得出,在中国近海,增温是最主要的特征,同时存在地区和季节的不同。两者在冬季表现一致,升温趋势占主导,只是东海部分海域降温;在夏季东海海域一致增温,主要不同在近岸海域和南黄海东部海域,历史资料是明显的降温趋势,而卫星资料则是增温趋势,表现截然不同。一方面近岸海域的温度变化受局地的影响较大,与外海相比,振荡明显,同时,历史资料

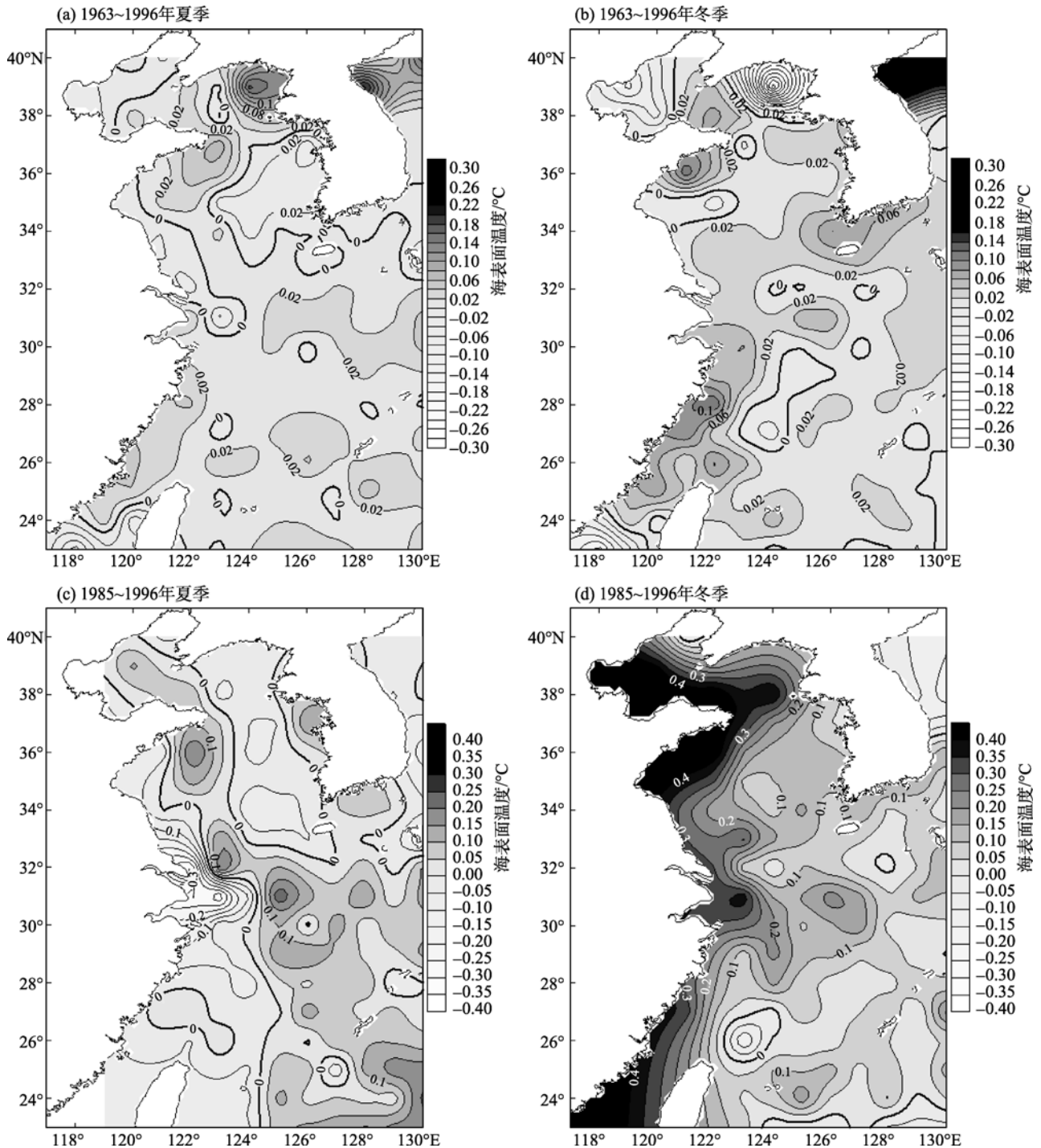


图1 历史数据 1963~1996 年和 1985~1996 年的夏季和冬季海表面温度变化趋势分布

Fig. 1 Spatial patterns of long-term trend of sea surface temperatures (SST) during 1963~1996 and 1985~1996 in summer and winter from the historical data set

在近岸海域数据较少且存在时空不均匀性, 导致历史资料夏季在近岸海域误差较大, 与卫星资料存在显著差异。而在外海地区如黑潮流域, 历史资料数据量大且分布均匀, 与卫星资料一致, 如在东海西南海域 27°N, 121°E 附近, 历史资料有一增温中心, 与

卫星资料吻合。接下来本文就南黄海南部海域(35°~37°N, 124°~126°E)进行详细阐述。

图 3 显示了历史资料 1957~1996 年和卫星资料 1985~1996 年南黄海东部海域夏季和冬季的 SST 变化时间序列。历史资料表明在夏季呈现出年代际变

化, 20 世纪 60 年代增温显著, 70 年代和 80 年代弱降温, 在 90 年代以来呈现增温趋势, 但是整个时间序列的线性趋势为降温; 卫星资料显示在 1985 年以来升温显著, 特别是 90 年代以来升温现象更加明显, 两者相关系数仅为 0.27(图 3(a))。历史资料 SST 在冬

季 60 年代初期达到最高温, 之后剧烈降温, 整个时间序列表现为降温, 但是在 1985~1996 年为稳定升温, 升温趋势达到了 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 卫星资料在这一时间段里增温显著, 两者相关性高, 相关系数超过了 0.85(通过了 99% 的显著性检验)(图 3(b))。

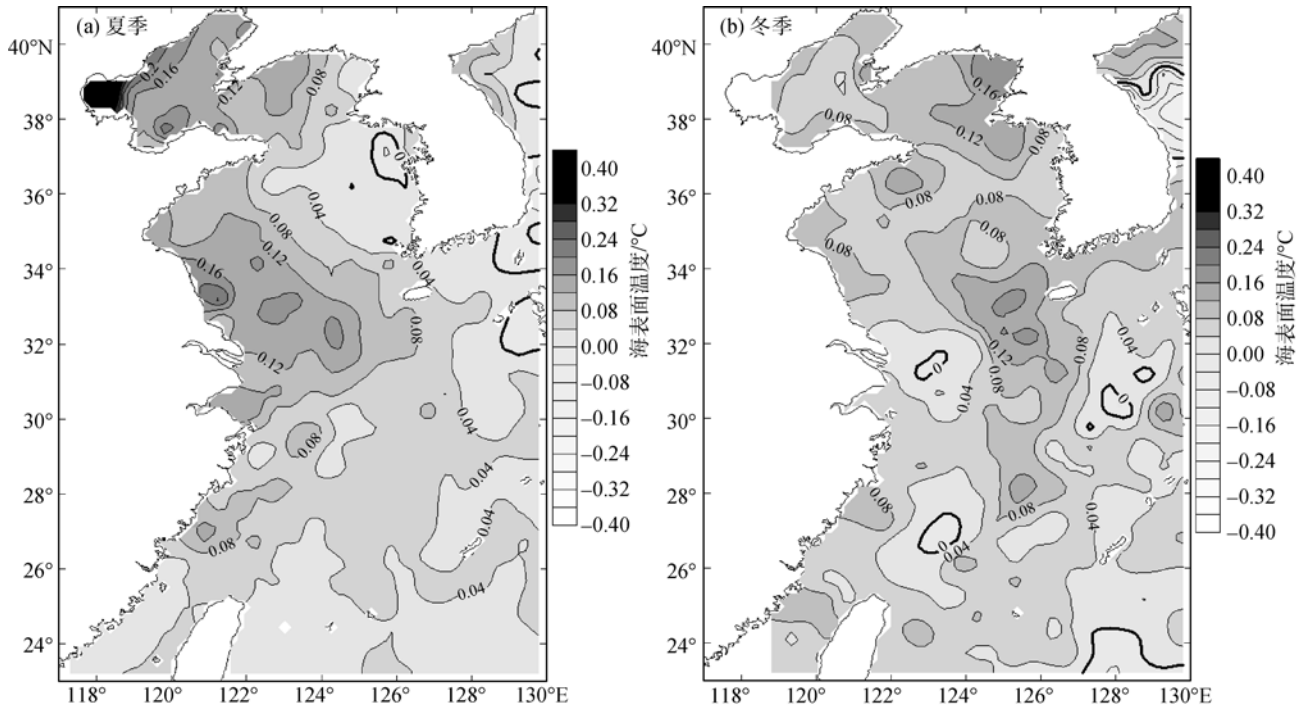


图 2 卫星资料 1985~1996 年的夏季和冬季 SST 变化趋势分布

Fig. 2 Spatial patterns of long-term trend of SST from the AVHRR Pathfinder satellite data during 1985~1996

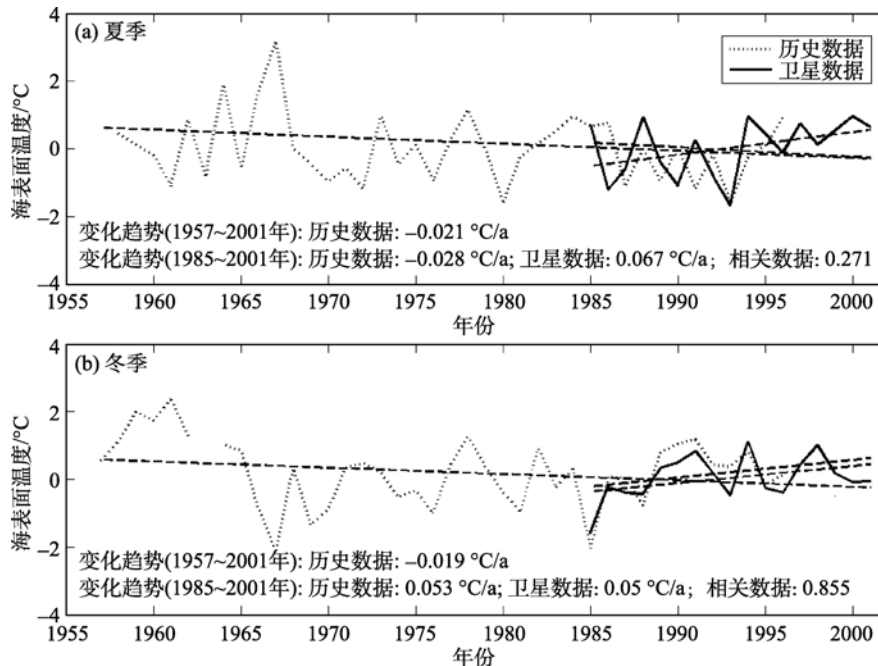


图 3 南黄海东部海域夏季和冬季海表面温度异常时间序列

Fig. 3 Time-series of SST anomaly in the eastern South Yellow Sea in summer and winter

历史资料和卫星资料夏季在 1985~1996 期间分别为降温和增温趋势, 为此, 我们进一步分析 1985 年后的 SST 变化情况。图 4 是 1986~1996 年和 1987~1996 年夏季和冬季的 SST 变化时间序列。夏季历史资料在

1986~1996 年增温, 变化趋势为 $0.029\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 同卫星资料的相关系数仅为 0.18(图 4(a)); 在 1987~1996 年的时间段中, 增温显著, 变化趋势是 $0.112\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, 同卫星资料的相关系数提升到了 0.43(图 4(c))。

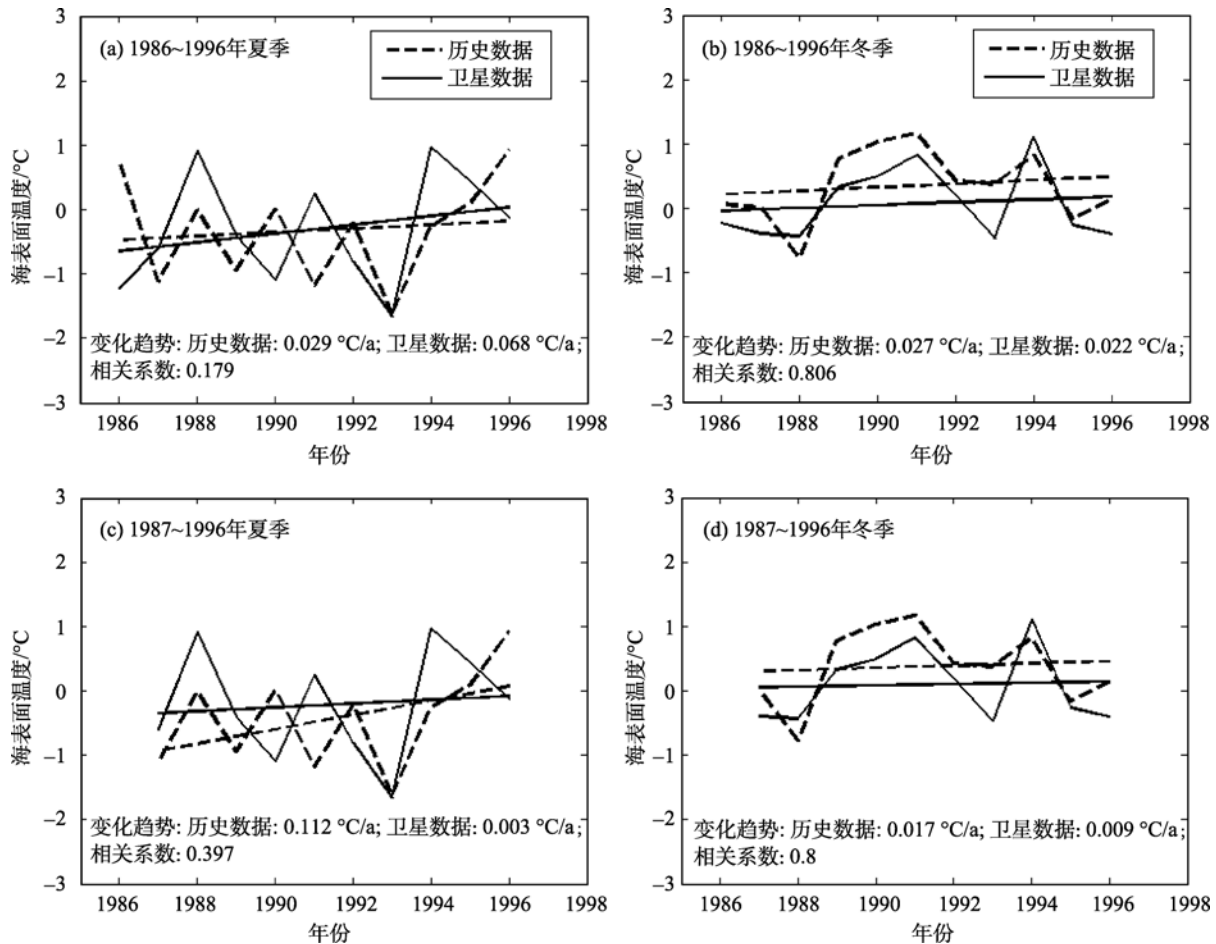


图 4 南黄海东部海域夏季和冬季不同时间跨度的海表面温度异常时间序列
Fig. 4 Time-series of SST anomaly in the eastern South Yellow Sea at different times

由上分析可得出时间段的选取对 SST 的变化趋势分析影响较大, 通过之前历史资料的南黄海东部海域夏季和冬季的 SST 异常分布情况对比, 可以看出在早期呈现较高的温度, 这样导致了在整个时间序列里表现为降温趋势。时间段的选取在冬季也存在同样的影响, 但明显小于夏季的, 在冬季两种资料一致性高。这可能是有两方面原因, 一是由于卫星测的是海表面温度, 而现场测的是海面下 1 m 深度附近的温度, 而在冬季, 由于混合作用强烈, 两者差别不大; 在夏季强烈的太阳辐射使海洋产生层化, 表面温度高于现场实测海温, 从而使现场观测产生误差; 另一方面, 很可能是由于系统误差引起的差异, 历史资料的时空不均匀性, 使得其与卫星资料

存在差异。

4 小结和讨论

本文对中国近海近几十年来 SST 变化趋势的空间分别进行了分析说明, 同时对历史资料和卫星资料进行了对比分析。研究结果表明中国近海 SST 变化主要以增温为主, 但增温幅度存在明显的地区和季节差异。夏季东海大部分海域特别是黑潮主干海域增温显著, 南黄海东部海域降温。冬季海域增温更加显著, 只是东海部分海域降温。1985 年后, 中国近海 SST 变化趋势显著加强, 冬季增温范围扩大。通过对代表海域的分析, 表明在不同时间段, SST 的变化趋势存在不同。两种资料在冬季变化趋势相似, 相

关性高。在夏季,近岸海域由于历史资料的缺省和时空不均匀性导致与卫星资料不同,在外海,强烈的太阳辐射产生的层化,引起(历史资料)观测差异,可能是引起两种资料差异的另一个因素。

综上,中国近海特别是东海,增温是主要的特征,冬季增温趋势更为显著,1985年后SST变化趋势加剧,历史资料的变化趋势高于卫星资料。通过对代表海域的分析进一步验证了增温这一特征以及两种资料间的高度一致性,同时也表明1985年后SST增长加剧。关于渤、黄、东海等各个海域的多年SST的变化时间序列的分析,以及影响中国近海温度变化的机制及影响因子,将在以后的文章中进行分析。

参考文献:

- [1] Cane M M, Clement A C, Kaplan A, et al. Twentieth-century sea surface temperature trends [J]. *Science*, 1997, 275: 957-960.
- [2] Levites S, Antonov J, Boyer T. Warming of the world ocean, 1955-2003 [J]. *Geophys Res Lett*, 1995, 32: 02604.
- [3] Park W-S, Oh I S. Interannual and interdecadal variations of sea surface temperature in the East Asian Marginal Seas [J]. *Progress in Oceanography*, 2000, 47(2-4): 191-204.
- [4] 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*, 2004, 24(5): 125-133.
- [5] 于非, 许一. 东海海表面温度长期变化趋势研究 [J]. *海洋科学进展*, 2003, 21(4): 477-481.
- [6] Chen Yongli, Hu Dunxin, Wang Fan. Long-term variabilities of thermodynamic structure of the East China Sea Cold Eddy in summer [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2004, 122(3): 224-230.
- [7] Tang Xiaohui, Wang Fan, Chen Yongli, et al. Warming trend in northern East China Sea in recent four decades [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2009, 27(2): 185-191.
- [8] 王凡, 许崇金, 代亮, 等. 中国近海及毗邻洋区国际海洋信息管理系统(IODBMS) [C]//中国科学院科学数据库办公室. 科学数据库与信息技术论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2004. 66-72.
- [9] Hao Jiajia, Chen Yongli, Wang Fan. Temperature inversion in China seas [J]. *J Geophys Res*, 2010, 115, C12025, doi:10.1029/2010JC006297.
- [10] Vazquez J K, Perry K K. NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set User's Reference Manual[EB/OL]. [2004-05-20]. ftp://podaac.jpl.nasa.gov/data_collections/woce_v3/avhrr/docs/usr_gde4_0.htm#4.2.

A comprehensive analysis of the long-term variation of sea surface temperature in the China seas based on historical and satellite data

MENG Qing-jia^{1, 2}, SHI Jian-wei³, LIU Na⁴, WANG Fan¹

(1. Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Meteorological and Hydrological Bureau, PLA Headquarters of the Central Staff, Beijing 100081, China; 4. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China)

Received: Nov., 1, 2010

Key words: the China seas; sea surface temperature (SST); long-term variation; warming

Abstract: Using Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences(IOCAS) 'China Marine Science Database' historical data and the Pathfinder satellite remote sensing data, the spatial variations in the long-term variation of sea surface temperature (SST) were analyzed over the China seas in summer and winter during 1963~1996 and 1985~1996. The results displayed warming was the main feature except for a few areas in the China seas, which was more significant warming trend in winter. High consistency was found in both datasets through representative areas analysis. The selection of time period and stratification in summer played important roles in the trend of SST. It becomed much warming since mid-80s, which was consistent with the IPCC report. The results have improved our understanding of the marginal seas responses to the global change.

(本文编辑: 刘珊珊)