

1870—2011 年全球海域 SST 变化趋势

郑崇伟^{1,2} 周林¹ 宋帅³ 潘静⁴

(1. 解放军理工大学气象海洋学院 南京 211101; 2. 92538 部队气象台 大连 116041; 3. 总参气象水文局 北京 100081; 4. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 北京 100029)

摘要 利用来自英国气象局哈德莱中心(Met Office Hadley Centre)的海表面温度(Sea Surface Temperature, SST)资料,对全球海域近 140 余年来 SST 的长期变化进行分析。研究发现:(1)1870—2011 年期间,全球大部分海域的 SST 表现出显著的逐年线性递增趋势,在两极大部分海域、格陵兰南部海域呈显著的递减趋势,仅在部分小范围海域及一些零星海域的 SST 无显著变化。近海的递增趋势强于大洋,大洋西岸的递增趋势强于大洋东岸。(2)近 140 余年来,整体上全球的 SST 以 $0.0038^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的速度显著增加,其中 1870—1910 年表现出较为显著的递减趋势,1910 年至今表现出较强的递增趋势。(3)1870—1910 年期间,全球大范围海域的 SST 无显著变化;呈显著递减的海域主要分布于东海、阿拉斯加半岛南部海域、北大西洋 30°N 附近海域、冰岛南部海域、南印度洋西风带海域、新西兰附近海域;呈显著递增的区域较为分散。1910—2011 年期间,全球大范围海域的 SST 逐年显著递增,在两极大部分海域呈显著的递减趋势。(4)1870—1960 年期间,两极的 SST 走势较为平缓;1960—2011 年期间,南极尤其是威德尔海的 SST 表现出显著的递减趋势,其中逐 8 月的递减趋势尤为强劲;北极逐 2 月、逐 5 月的 SST 呈显著性递减,逐 8 月呈显著性递增且趋势较为强劲,达到 $0.0402^{\circ}\text{C}/\text{a}$,逐 11 月的 SST 无显著变化。

关键词 全球海域;海表温度;变化趋势;区域性差异;季节性差异;威德尔海
中图分类号 P731.11

全球变暖常引起海温和海平面变化,对人类影响极大,全球变暖导致的环境危机、资源危机越来越成为众多专家关注的热点(Zheng *et al.*, 2012; Zheng *et al.*, 2013; 郑崇伟等, 2012)。近年来关于 SST 变化趋势的研究已有不少,冯琳等(2009)利用来自英国气象局哈德莱中心(Met Office Hadley Centre, 以下简称 Hadley 中心)的 SST,发现在 1945—2006 年期间东中国海的 SST 平均每年升高 0.015°C ,在整个 62 年期间共升高了 0.9°C ,其中东海升温最为突出,福建和浙江两省沿岸向东北方向扩展的大片海域是 SST 递增趋势的大值区。潘蔚娟等(2007)利用实测月平均海表温度资料发现华南近海区域年平均 SST 最近 44 年的线性增长率为 $0.12\text{—}0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。张秀芝等(2005)利用

Hadley 中心的 SST 数据,在渤海、黄海、东海、南海各选择代表性区域,分析了中国近海海温的长期变化,发现中国海近 100 多年来各海区呈增温趋势,此外还发现,渤海、黄海、南海的年平均 SST 存在 2—4 年的显著性变化周期、准 7 年的变化周期。Cheng *et al.* (2008)利用来自夏威夷周边的 4 个浮标站资料,分析了 SST 观测值的长期变化趋势,结果发现 4 个观测站中,仅 B51001 站的 SST 呈显著性逐年线性递增,而 B51002、B51003、B51004 站的 SST 则无显著的变化趋势。气候学家们普遍认为在过去的 100 年里,全球变暖的趋势约为 $0.53^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ (王绍武, 2005; 齐庆华等, 2008; 陈锦年等, 2009; 王宏娜等, 2009)。但上述研究主要是对区域平均后的分析,这种分析方

* 国家自然科学基金, 41106014 号; 公益行业(气象)科研专项, GYHY201306026 号; 国家重点基础研究发展规划项目, 2012CB957803 号; 中国科学院知识创新工程重要方向项目, KZCX2-YW-Q11-03 号。 郑崇伟, 硕士, E-mail: zhengzhang.xia@163.com

通讯作者: 周林, 教授, E-mail: zhou_lin4458@163.com

收稿日期: 2012-01-10, 收修改稿日期: 2012-05-07

法往往会将某些重点海域的变化特征忽略。为了同时展现全球海域 SST 的整体变化、变化趋势的区域性和季节性特征,本文计算了近 140 余年来全球海域 $1^\circ \times 1^\circ$ 各网格点上 SST 的整体变化、变化趋势的区域性差异以及重点海域变化的季节性差异,为深入研究全球变暖、防灾减灾等提供参考。

1 资料简介

本文采用来自英国气象局哈德莱中心的 SST 资料(HadISST),时间范围自 1870 年 1 月至今,时间分辨率为逐月;空间范围为 $179.5^\circ\text{W}—179.5^\circ\text{E}$, $89.5^\circ\text{S}—89.5^\circ\text{N}$,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。该资料主要来源于 Met Office Marine Data Bank (MDB),其中 1982 年以前的部分包含了全球电信系统(Global Telecommunications System, GTS)的数据。为加强资料覆盖,在缺少数据的地方,使用了 COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)(现在的 ICOADS)的数据进行补充。HadISST 数据具有较高精度,被广泛运用(Rayner *et al.*, 2003)。

2 全球海域 SST 特征分析

2.1 全球 SST 的长期趋势

为了体现 SST 变化趋势的区域性差异,本文计算了 1870—2011 年期间全球海域 $1^\circ \times 1^\circ$ 逐网格点上 SST 的逐年变化趋势,彩色区域表示通过了 95% 的信度检验,见图 1。

1870—2011 年期间,全球大部分海域的 SST 表现出显著的逐年线性递增趋势,在两极大部分海域、格陵兰南部海域呈显著的递减趋势,仅在部分小范围海域及一些零星海域的 SST 无显著性变化趋势。近海的递增趋势强于大洋,大洋西岸的递增趋势强于大洋东岸。递增趋势较强的海域主要集中在:东海 ($0.009—0.012^\circ\text{C/a}$)、日本周边海域($0.006—0.012^\circ\text{C/a}$)、白令海峡(约 0.012°C/a)、华盛顿以东近海(大于 0.009°C/a)、南美洲东南部海域(大于 0.006°C/a)、南非南部大范围海域($0.006—0.012^\circ\text{C/a}$)。与全球变暖的大背景吻合。气候学家们普遍认为在过去的 100 年里,全球变暖的趋势约 $0.53^\circ\text{C}/100\text{a}$,由图 1 可见,本文计算得到的中国海及周边海域 SST 的递增趋势略高于全球变暖趋势,而与冯琳等(2009)、潘蔚娟等(2007)的结论比较后发现,过去百年的 SST 递增趋势没有近 50 余年来的递增趋势强劲,这是由于在 1870—1910 年期间的 SST 表现出缓慢递减,递增趋势主要体现在 1910—

2010 年期间所致,这一点由图 2 也可以明显看出。

呈显著性递减的区域集中分布于南极($-0.040—-0.003^\circ\text{C/a}$)、北极($-0.020—-0.006^\circ\text{C/a}$)、格陵兰南部海域($-0.006—-0.003^\circ\text{C/a}$),尤其是位于南极的威德尔海,递减趋势尤为强劲,高达 -0.040°C/a 。有研究曾指出近 200 年北极巴罗角的温度呈下降趋势(王国等, 1998),本文的结论与之吻合。

在全球变暖大背景下,两极的 SST 呈递减趋势,而近年来也不断有关于两极海冰减少的报道,这与本文的结论并不冲突,作者初步分析认为:由于全球变暖,中低纬海域的热量通过大气循环和海气相互作用传递至两极,促使两极的海冰融化,而海冰融化后产生的冷水导致两极的海表温度降低。在一定程度上,两极海冰融化、海表温度降低起到了调节、缓解全球变暖的作用。作者在此只是一种推断,需要在今后专门就此现象展开定量的科学研究,深入探索全球变暖、两极 SST 递减、两极海冰减少之间的关系。

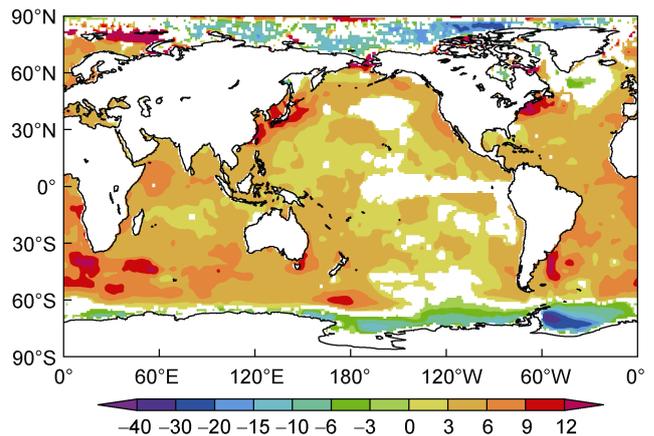


图 1 1870—2011 年期间全球海域 SST 的逐年变化趋势(10^{-3}°C/a)

Fig.1 The long-term trend of SST in global ocean from 1870 to 2011

图 1 较好地体现了 SST 变化趋势的区域性差异。为了从整体上把握全球 SST 的变化趋势,本文将全球海域的 SST 在 1870—2011 年进行逐年区域平均,如图 2 所示。相关系数为 0.76,通过了 99% 的信度检验,变化趋势显著,回归系数为 0.0038,即近 140 余年来,全球的 SST 整体上以 0.0038°C/a 的速度逐年线性递增。这与图 1 的结论一致。从曲线的走势来看,全球 SST 在 1870—1910 年期间表现出较为显著的递减趋势;1910 年之后表现出递增趋势,递增趋势一直延续至今,且递增趋势显著。

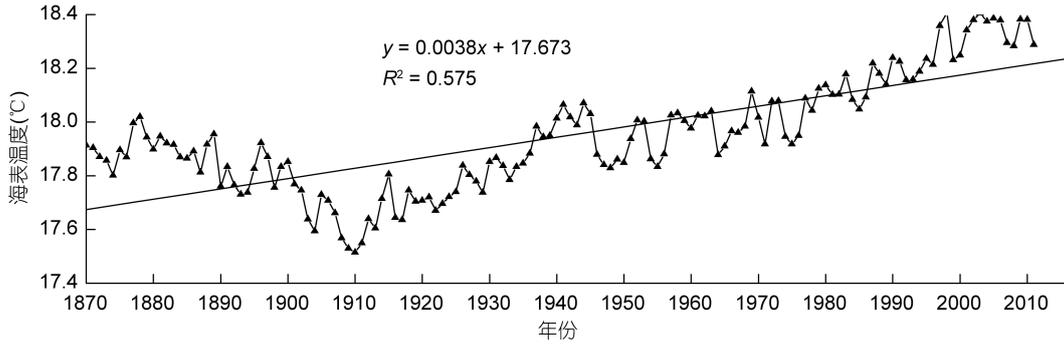


图 2 1870—2011 年全球海域逐年区域平均的 SST 及其线性趋势
 Fig.2 Annual average SST in global ocean from 1870 to 2011

图 2 的结果表明, 1910 年为 SST 变化趋势的一个转折点, 本文在此以 1910 年为界, 将时间段分为两段, 分别分析 1870—1910 年、1910—2011 年期间 SST 的变化趋势, 彩色区域表示通过了 95% 的信度检验, 见图 3。

1870—1910 年期间: 大范围海域的 SST 无显著性变化趋势; 呈显著性递减的海域主要分布于东海

(-0.020 — 0.015°C/a)、阿拉斯加半岛南部海域(-0.020 — -0.006°C/a)、北大西洋 30°N 附近海域(约 -0.006°C/a)、冰岛南部海域(约 -0.006°C/a)、南印度洋西风带海域(-0.015 — 0.0°C/a)、新西兰附近海域(约 -0.006°C/a)、以及一些小范围海域; 呈显著性递增的区域主要散布于一些零星海域。

1910—2011 年期间: 全球大范围海域的 SST 呈显著性逐年线性递增, 在两极大部分海域呈显著的递减趋势, 仅部分小范围海域及一些零星海域的 SST 无显著性变化趋势。递增趋势较强的海域主要集中在: 东海(大于 0.012°C/a)、日本周边海域(大于 0.012°C/a)、白令海峡(约 0.015°C/a)、华盛顿以东近海(0.012 — 0.015°C/a)、南美洲东南部海域(大于 0.015°C/a)、南印度洋西风带大范围海域(0.006 — 0.015°C/a); 呈显著性递减的区域集中分布于南极(-0.060 — 0.010°C/a)、北极(-0.040 — -0.020°C/a), 尤其是位于南极的威德尔海, 递减趋势尤为强劲, 高达 -0.060°C/a 。

2.2 重点海域 SST 的长期趋势

1870—2011 年和 1910—2011 年期间, 两极大部分海域的 SST 均表现出强劲的递减趋势, 本文在此重点就南极、北极, 尤其是位于南极的威德尔海 SST 的变化趋势展开分析, 见图 4。

2.2.1 逐年变化趋势 将南极、北极、威德尔海的 SST 从 1870—2011 年分别进行逐年区域平均, 分析近 140 余年来这几个重点海域 SST 的整体变化趋势。

南极(图 4a): 1870—1972 年期间的 SST 走势平缓, 1972 年以后波动较大。1972—1991 年期间呈显著的递减趋势, 1991—1998 年期间呈震荡递增, 1998—2006 年期间走势又趋于平缓, 2006 年以后急速低减, 并在 2010 年达到近 140 余年的最低点, 约 -2.3°C 。

威德尔海(图 4b): 近 140 余年来, 威德尔海 SST 的走势与南极 SST 的走势保持大体一致, 只是威德

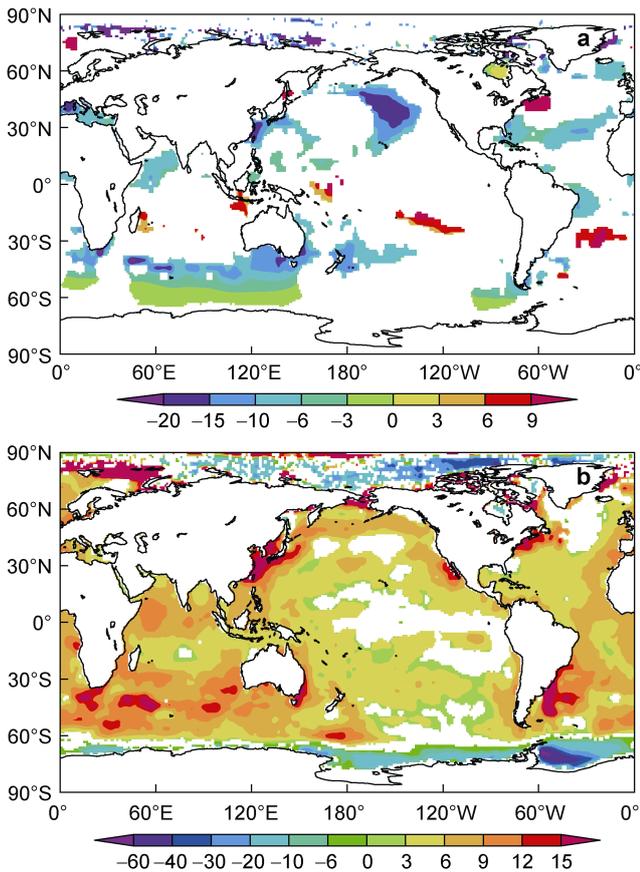


图 3 1870—1910 年(a)、1910—2011 年(b)期间 SST 的变化趋势($10^{-3}^{\circ}\text{C/a}$)

Fig.3 Long-term trend of SST in global ocean from 1870 to 1910 (a) and 1910 to 2011 (b)

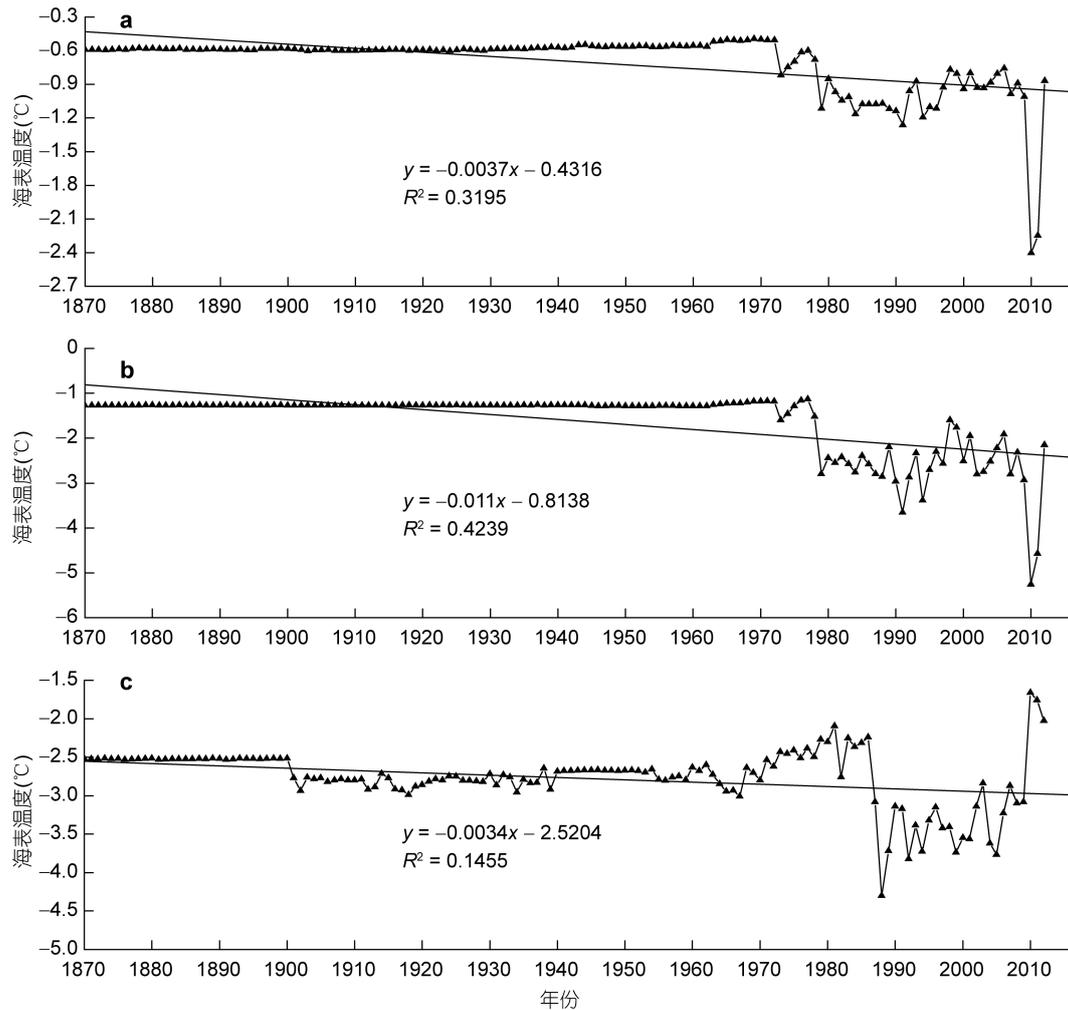


图4 1870—2011年南极(a)、威德尔海(b)、北极(c)逐年区域平均的SST及其线性趋势
Fig.4 Annual average SST in Antarctica (a), Wedell Sea (b), and Arctic (c) from 1870 to 2011

尔海的SST更低,2010年为近140余年来的最低点,约 -5.0°C 。

北极(图4c):整体来看,1870—1967年期间的SST呈缓慢的递减趋势,走势大体平缓;1967—1981年期间呈递增趋势,1981—1988年期间急速低减,并在1988年达到近140余年来的最低点,约 -4.3°C ;1989—2009年在 -3.5°C 上下震荡,无显著的变化趋势,2009—2010年急速递增,在2010年达到近140余年来的最高点,约 -1.3°C 。

2.2.2 逐2月、逐5月、逐8月、逐11月的变化趋势
由于南极、北极、威德尔海的SST在1870—1960年期间均无显著的变化趋势,走势非常平缓,本文在此分别计算南极、北极、威德尔海的SST在1960—2011年期间逐2月、逐5月、逐8月、逐11月的变化趋势,分析这几个重点海域SST变化趋势的季

节性差异,见图5—图7。

1960—2011年期间,无论是逐2月、逐5月、逐8月,还是逐11月,南极和威德尔海的SST均表现出显著性递减;北极逐2月、逐5月的SST均表现出显著性递减,逐8月呈显著性递增,且递增趋势较为强劲,达到 0.0402°C/a ,逐11月的SST无显著性变化趋势。

为了更加清晰地比较南极、北极、威德尔海的SST逐2月、逐5月、逐8月、逐11月的变化趋势的差异,本文在表1中列出了几个重点海域在不同月份的变化趋势。由表1可以看出,南极逐2月、逐5月、逐8月、逐11月的SST均表现出显著性递减趋势,尤其是逐8月SST的递减尤为强劲,达到 $-0.0271^{\circ}\text{C/a}$;威德尔海的递减趋势在各个代表月均非常强劲,在逐8月更是高达 $-0.0719^{\circ}\text{C/a}$;两极海域中,仅北极逐8月的SST表现出较为强劲的递增趋势,详见表1。

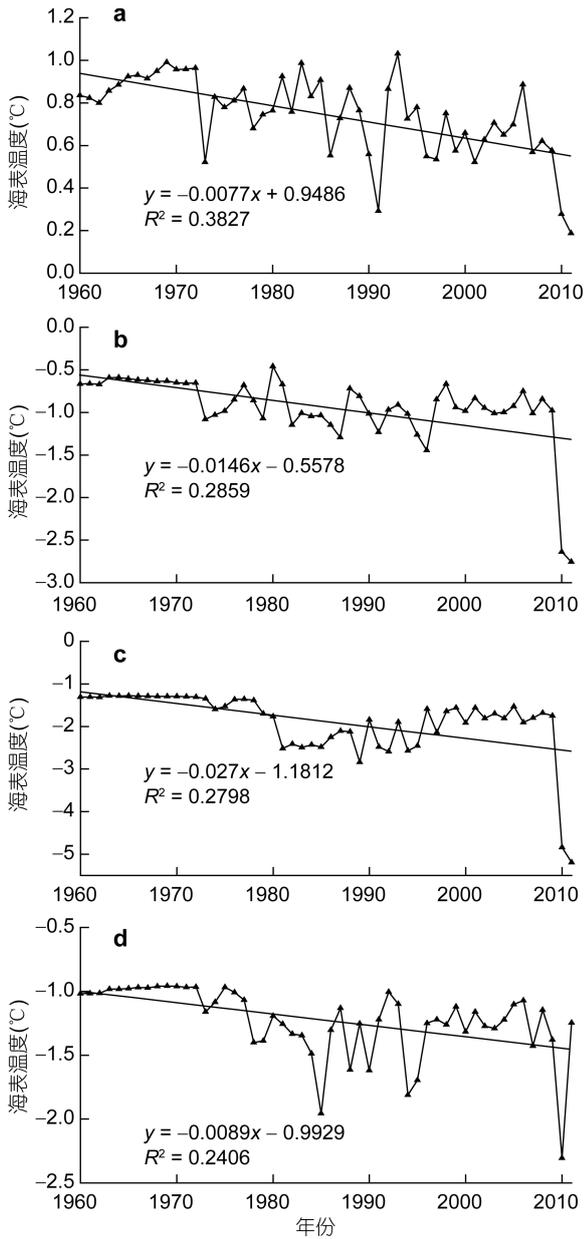


图5 1960—2011 年期间南极逐 2 月(a)、逐 5 月(b)、逐 8 月(c)、逐 11 月(d)的 SST 及其线性趋势
 Fig.5 SST in Antarctica in February (a), May (b), August (c), November (d) from 1960 to 2011

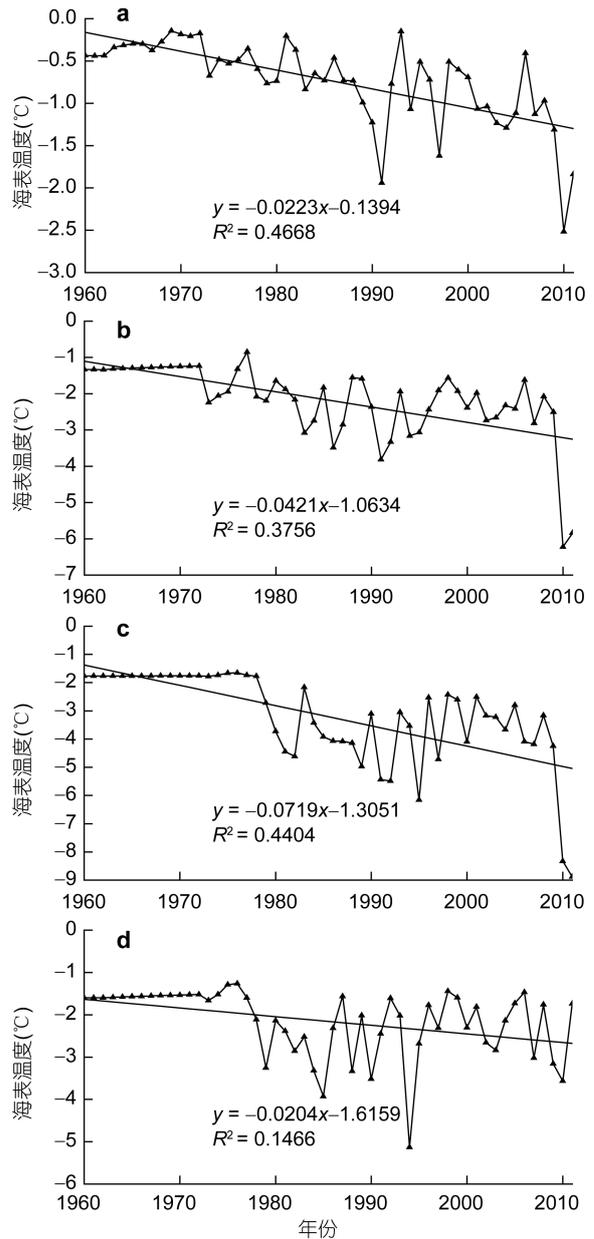


图6 1960—2011 年期间威德尔海逐 2 月(a)、逐 5 月(b)、逐 8 月(c)、逐 11 月(d)的 SST 及其线性趋势
 Fig.6 SST in Weddell Sea in February (a), May (b), August (c), and November (d) from 1960 to 2011

3 结论

(1)1870—2011 年期间, 全球大部分海域的 SST 表现出显著的逐年线性递增趋势, 在两极大部分海域、格陵兰南部海域呈显著的递减趋势, 仅在部分小范围海域及一些零星海域的 SST 无显著性变化趋势。近海的递增趋势强于大洋, 大洋西岸的递增趋势强于大洋东岸。递增趋势较强的海域主要集中在: 东海、日本周边海域、白令海峡、华盛顿以东近海、南

美洲东南部海域、南非南部大范围海域; 位于南极的威德尔海的 SST 递减趋势尤为强劲, 高达 $-0.040^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。

(2)近 140 余年来, 全球的 SST 整体上以 $0.0038^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的速度显著性逐年线性递增, 1870—1910 年期间表现出较为显著的递减趋势, 1910 年之后表现出递增趋势, 递增趋势一直延续至今, 且递增趋势显著。

(3)1870—1910 年期间, 全球大范围海域的 SST 无显著变化趋势; 呈显著递减的海域主要分布于东海、阿拉斯加半岛南部海域、北大西洋 30°N 附近海

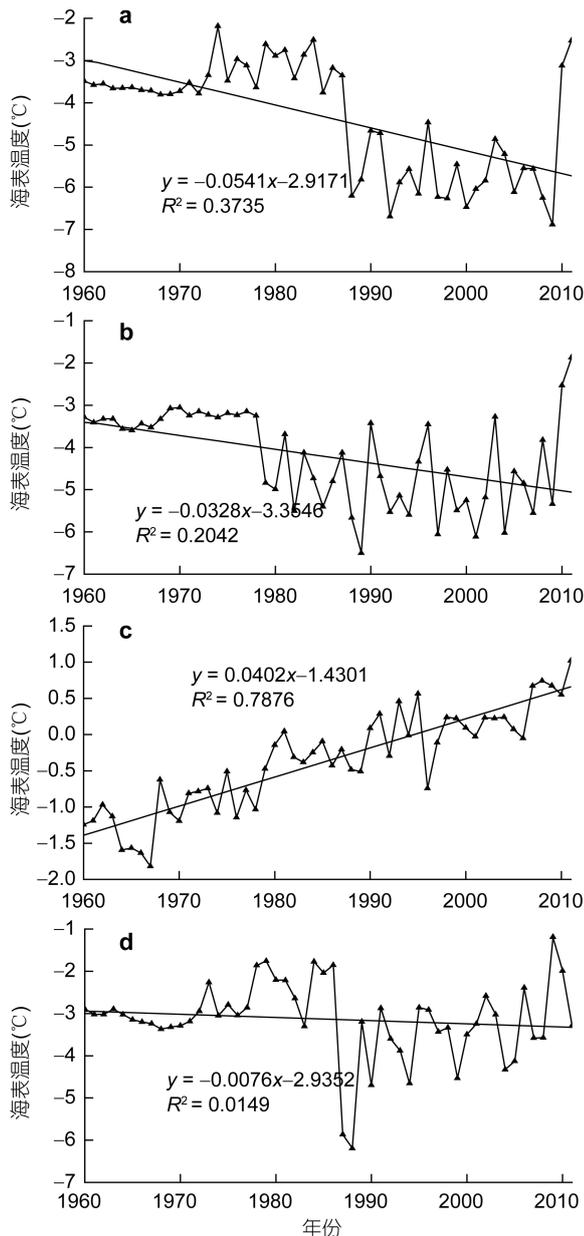


图7 1960—2011年期间北极逐2月(a)、逐5月(b)、逐8月(c)、逐11月(d)的SST及其线性趋势

Fig.7 SST in Arctic in February (a), May (b), August (c), and November (d) from 1960 to 2011

表1 1960—2011年期间几个重点海域不同季节的SST变化趋势(°C/a)

Tab.1 Seasonal changes of SST from 1960 to 2011 (°C/a)				
海域	逐2月	逐5月	逐8月	逐11月
南极	-0.0077	-0.0146	-0.0271	-0.0089
威德尔海	-0.0223	-0.0421	-0.0719	-0.0204
北极	-0.0541	-0.0328	0.0402	趋势不显著

域、冰岛南部海域、南印度洋西风带海域、新西兰附近海域, 以及一些小范围海域; 呈显著性递增的区域主要散布于一些零星海域。1910—2011年期间, 全球大范围海域的SST呈显著性逐年线性递增, 在两极大部分海域呈显著的递减趋势, 仅部分小范围海域的SST无显著性变化趋势。

(4)1870—1960年期间, 两极的SST走势较为平缓; 1960—2011年期间, 南极尤其是威德尔海的SST表现出显著的递减趋势, 其中又以逐8月的递减趋势尤为强劲; 北极逐2月、逐5月的SST均表现出显著性递减, 逐8月呈显著性递增, 且递增趋势较为强劲, 达到 $0.0402^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 逐11月的SST无显著性变化趋势。

参 考 文 献

- 王 国, 张青松, 1998. 400年来北极巴罗角的温度变化特征. 极地研究, 10(1): 11—16.
- 王宏娜, 陈锦年, 吕心艳, 2009. 西太平洋暖池海温的时空变化及其在ENSO循环中的作用. 海洋与湖沼, 40(1): 1—7.
- 王绍武, 2005. 现代气候学概论. 北京: 气象出版社, 3—5.
- 冯 琳, 林霄沛, 2009. 1945—2006年东中国海海表温度的长期变化趋势. 中国海洋大学学报, 39(1): 13—18.
- 齐庆华, 张启龙, 侯一筠, 2008. 西太平洋暖池纬向变异及其对ENSO的影响. 海洋与湖沼, 2008, 39(1): 65—73.
- 张秀芝, 裘越芳, 吴迅英, 2005. 近百年中国近海海温变化. 气候与环境研究, 10(4): 799—807.
- 陈锦年, 王宏娜, 2009. 西太平洋暖池热状况变化特征及其东传过程. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 669—673.
- 潘蔚娟, 钱光明, 余克服等, 2007. 华南近海近40年的实测SST变化特征. 热带气象学报, 23(3): 271—276.
- 郑崇伟, 周林, 2012. 近10年南海波浪特征分析及波浪能研究. 太阳能学报, 33(8): 1349—1356.
- Cheng Y C, Xu Q, Liu Y G, 2008. Interannual Variability of SST, SLA and Wind Waves in the Hawaii Area and Their Responses to ENSO. Journal of Ocean University China, 2008, 7(4): 379—384.
- Rayner N A, Parker D E, Horton E B *et al*, 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. J Geophys Res, 108: 4407, <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002670>.
- Zheng C W, Zhuang H, Li X *et al*, 2012. Wind energy and wave energy resources assessment in the East China Sea and South China Sea. Science China Technology Sciences, 55(1): 163—173.
- Zheng C W, Pan J, Li J X, 2013. Assessing the China Sea wind energy and wave energy resources from 1988 to 2009. Ocean Engineering, 65: 39—48.

LONG TERM TREND OF GLOBAL SEA SURFACE TEMPERATURE FROM 1870 TO 2011

ZHENG Chong-Wei^{1,2}, ZHOU Lin¹, SONG Shuai³, PAN Jing⁴

(1. *College of Meteorology and Oceanography, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing, 211101*; 2. *Meteorological Unit, NO. 92538 Army of PLA, Dalian, 116041*; 3. *Meteorological & Hydrological Bureau of General Staff, Beijing, 100081*; 4. *LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing, 100029*)

Abstract We analyzed $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ sea surface temperature (SST) data of 1870—2011 from the Met Office Hadley Centre of United Kingdom, to understand the long term trend of the SST variation in global oceans over the last 140 years. Results show that (1) except for the Arctic, Antarctica, and southern waters of Greenland, SST in most of global ocean increased significantly, of which SST in nearshore was greater than that in the ocean, greater in west coasts than that in east coasts; (2) over the last 140 years, SST in global ocean as a whole increased significantly at about $0.0038^{\circ}\text{C}/\text{a}$. However, SST in global ocean decreased obviously from 1870 to 1910, while increased significantly from 1910 to the present; (3) from 1870 to 1910, SST in most of the global oceans remained stable. Significant increase in SST was found mainly in the East China Sea, southern waters of Alaska peninsula, 30°N waters in the Atlantic, southern area of Iceland, westerlies of the south Indian Ocean, and New Zealand waters. From 1910 to 2011, SST in most of global ocean presented a significant increasing trend except for the waters in Arctic and Antarctica; (4) from 1870 to 1960, SST in Arctic and Antarctica increased smoothly. However, from 1960 to 2011, SST in Antarctica decreased remarkably, especially in Weddell Sea in August. In Arctic, on the other hand, SST obviously decreased in February and in May, but increased significantly in August, and remained stable in November.

Key words global ocean; sea surface temperature; long term trend; regional difference; seasonal difference; Weddell Sea