

全球 SST 的季节特征及长期变化趋势分析

孙成志^{1,2}, 郑崇伟^{2,3}, 陈璇³

(1. 大连海事大学 环境科学与工程学院, 辽宁 大连 116020; 2. 海军大连舰艇学院 航海系, 辽宁 大连 116018; 3. 解放军理工大学 气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

摘要: 利用来自 NCEP/NCAR 的 Sea Surface Temperature (SST) 资料, 对全球海域近 150 a SST 的季节特征和逐年变化趋势进行分析。结果表明: (1) 全球大部分海域 SST 呈显著的逐年线性递增趋势, 同时也表现出很大的区域性差异, 线性递增趋势较强的海域主要集中在: 北太平洋中部海域 ($0.003 \sim 0.006^{\circ}\text{C}/\text{a}$)、赤道中东太平洋 ($0.004 \sim 0.006^{\circ}\text{C}/\text{a}$)、南大西洋大部分海域 ($0.006 \sim 0.01^{\circ}\text{C}/\text{a}$)、南印度洋西部海域 ($0.006 \sim 0.009^{\circ}\text{C}/\text{a}$), 仅在冰岛西南部海域、两极部分海域呈显著的递减趋势, 与全球变暖的大背景相吻合; (2) 全球部分海域的 SST 变化趋势由冬季占主导, 部分海域的 SST 变化趋势由夏季占主导; (3) 全球海域存在三大永久性暖池, 且具有 2.78 ~ 3.13 a、3.45 a、5.26 ~ 5.88 a 的共同周期及 100 a 的长周期震荡。

关键词: SST; 季节特征; 变化趋势; 暖池; 周期

中图分类号: X143

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2015)05-0713-05

Seasonal characteristics and long-term trend analysis of SST in the global ocean

SUN Cheng-zhi^{1,2}, ZHENG Chong-wei^{2,3}, CHEN Xuan³

(1. College of Environment Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116020, China; 2. Dept. of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China; 3. College of Meteorology and Oceanography, People's Liberation Army University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: In this paper, the seasonal characteristics and long-term trend of SST (Sea Surface Temperature) in the Global Ocean were analyzed. Results show that, (1) The SST in most of global ocean has obvious increasing trend, except southwest sea area of Icelandic, South Pole and the North Pole waters. This phenomenon has good accordance with global warm trend. The long term trend of the global SST shows obvious regional difference. Areas with strong increasing trend are mainly located in the middle waters of the North Pacific Ocean ($0.003 \sim 0.006^{\circ}\text{C}/\text{a}$), equator waters of the Pacific Ocean ($0.004 \sim 0.006^{\circ}\text{C}/\text{a}$), most waters of the South Atlantic Ocean ($0.006 \sim 0.01^{\circ}\text{C}/\text{a}$), west of the South Indian Ocean ($0.006 \sim 0.009^{\circ}\text{C}/\text{a}$). (2) The long-term trend of SST in some regions is dominated by summer, while some regions dominated by winter. (3) There are there warm pools in global ocean, and they have significant 2.78 ~ 3.13 years, 3.45 years, 5.26 ~ 5.88 years periods and above 100 years.

Key words: sea surface temperature; seasonal characteristics; long-term trend; warm pools; period

全球变暖常引起海温和海平面变化^[1], 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。风、浪、流、海

温等海洋水文要素对军地海洋建设有着重要影响^[2]。近年来关于 SST(海表温度)变化趋势的研究已有不少, 冯琳等^[3]利用来自 Hadley 的 SST, 发

收稿日期: 2015-04-30, 修订日期: 2015-05-10

基金项目: 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q11-03)

作者简介: 孙成志(1964-), 男, 黑龙江尚志人, 副教授, 主要从事海洋气象相关研究, E-mail: scz64519@sohu.com

现在 1945 ~ 2006 期间东中国海的 SST 平均每年升高 0.015°C , 潘蔚娟等^[4]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 a 的线性增长率为 $0.12 \sim 0.19^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$, 张秀芝等^[5]研究发现中国海近 100 a 多来各海区呈增温趋势, 气候学家们普遍认为在过去的 100 a 里, 全球变暖的趋势约 $0.53^{\circ}\text{C}/100 \text{ a}$ ^[6]。但上述研究主要是对区域平均后的分析, 这种分析方法往往会将某些重点海域的变化特征忽略。本文则是计算全球海域 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 每个网格点上 SST 近 150 a 的变化趋势, 对于深入研究全球变暖、防灾减灾具有重要意义。

1 资料来源

本文所用的 SST 资料来自 National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), 该资料时间范围从 1854 年起, 每月 1 次, 更新较及时, 空间范围覆

盖全球, 空间分辨率 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。空间范围为 $88^{\circ}\text{S} \sim 88^{\circ}\text{N}, 0^{\circ}\text{E} \sim 360^{\circ}\text{E}$ 。该数据具有较高的精度, 被广泛运用^[7-8]。

2 SST 特征分析

2.1 SST 的季节特征

将 NCEP/NCAR 的 SST 数据进行多年季节平均, 分析不同海域 SST 的季节性差异和区域性差异, 结果见图 1。通常将 SST 大于 28°C 的暖水区定义为暖池 (Warm pool)^[9-10]。邱东晓^[11]等将每年 1 ~ 12 月 SST 均大于 27.5°C 的区域定义为永久性暖池。参考上述方法, 本文将每年 1 ~ 12 月 SST 均大于 28°C 的区域定义为永久性暖池。热带气旋一般发生在高于 26.5°C 的暖洋面, 就是因为暖池上空有利于热带积云对流的 CISK 正反馈机制的形成和发展, 通常为台风生成的源地^[11], 深入研究全球海域的暖池意义深远。

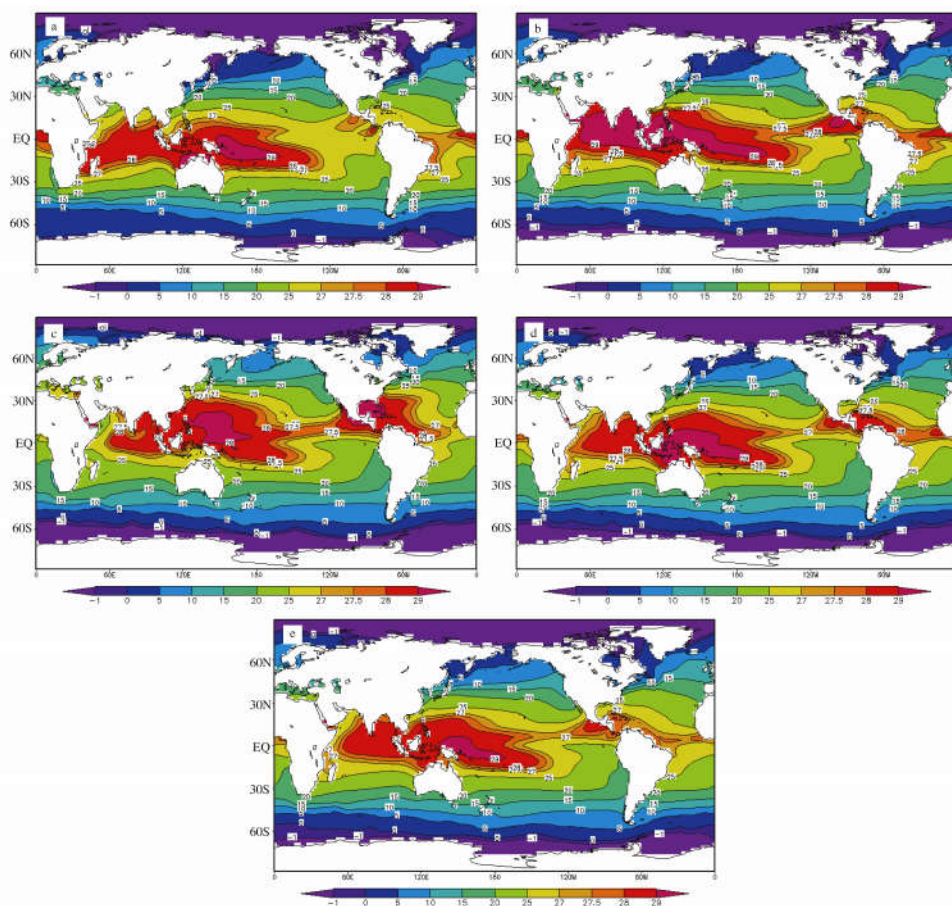


图 1 全球海域 1854 ~ 2014 年月平均的 2 月 (a)、5 月 (b)、8 月 (c)、11 月 (d) 及年平均 (e) 海表温度场 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 Monthly characteristics of SST in global oceans from year 1854 to 2014 in February (a), May (b), August (c), November (d) and annual (e)

由图 1 可见, 全球海域存在明显的三大永久性暖池: 中东印度洋暖池、西太平洋暖池、东太平

洋暖池。SST 的高值区主要集中在赤道附近海域,向两极逐渐递减。各大暖池在 5 月份为全年最强盛的时期,分布范围最广,且很大一部分海域大于 29℃。中东印度洋暖池在 5 月最强,2 月和 11 月次之,8 月最弱;西太平洋暖池在 5 月最强盛,8 月和 11 月次之,2 月最小;东太平洋暖池在 5 月最强,8 月次之,2 月和 11 月都较弱。另外,赤道东大西洋在 2 月、5 月、10 月为 SST 的相对大值区,加勒比海在 5 月、8 月、10 月为 SST 的相对大值区。

2.2 各暖池附近海域 SST 的月变化特征

将三大暖池的 SST 从 1854 年 1 月~2014 年 12 月取逐月区域平均值,分析其月变化特征,结果见图 2。中东印度洋暖池 SST 的月变化存在一主峰一次峰,在 4 月和 5 月最大(约 29.3℃),11 月为次大值(约 28.2℃)。东太平洋暖池 SST 在 5 月最大(约 29.4℃),8 月为次大值(约 29℃)。西太平洋暖池 SST 变化较为平缓,各月均在 28.5℃左右。

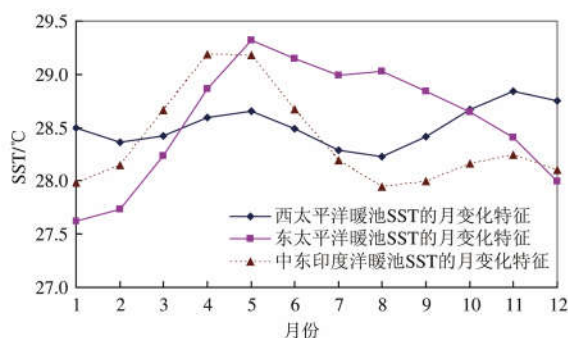


图2 中东印度洋暖池、西太平洋暖池、东太平洋暖池 SST 的月变化特征

Fig. 2 Monthly change of SST in Indian warm pool, west Pacific warm pool and east Pacific warm pool

2.3 全球海域 SST 的月变化特征逐年线性趋势

将全球海域每个网格点上的 SST 从 1854 年到 2009 年取逐年平均,分析每个网格点上 SST 的逐年、夏季、冬季的线性趋势,计算方法如下:

$$y = a + bx \quad (1)$$

其中: b 为线性趋势的回归系数。相关系数为 r 。

$$b = \frac{L_{xy}}{L_{xx}}, r = \frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx}L_{yy}}} =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, L_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2, L_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}, L_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2$$

气候学家们普遍认为在过去的 100 a 里,全球变暖的趋势约 0.53℃/100 a^[6]。近年来关于不同海域 SST 变化趋势的研究已有很多,冯琳等^[3]发现在 1945~2006 年期间东中国海的 SST 平均每年升高 0.015℃,潘蔚娟等^[4]发现华南近海区域年平均 SST 最近 44 a 的线性增长率为 0.12~0.19℃/10 a,张秀芝等^[5]研究发现中国海近 100 a 多来各海区呈增温趋势,但上述研究主要是对区域平均后的分析,这种分析方法往往会将某些重点海域的变化特征忽略。本文则是从全球海域出发,计算全球海域 2°×2°每个网格点上 SST 近 150 a 的变化趋势。

由图 3a 可看出,全球大部分海域 SST 呈显著的逐年线性递增趋势,仅在冰岛西南部海域(约 -0.006~-0.003℃/a)、两极部分海域呈显著的递减趋势,有研究曾指出近 200 a 北极巴罗角的温度呈下降趋势^[12]。线性递增趋势较强的海域主要集中在:北太平洋中部海域(约 0.003~0.006℃/a)、赤道中东太平洋(约 0.004~0.006℃/a)、南大西洋大部分海域(约 0.006~0.01℃/a)、南印度洋西部海域(约 0.006~0.009℃/a),与全球变暖的大背景吻合。郑崇伟等^[13-14]曾指出近百余年来(1870~2011),全球大部分海域的 SST 表现出显著的逐年线性递增趋势,整体上以 0.0038℃/a 的速度显著增加,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。本文的结论与郑崇伟的结论大体一致,只是本文所得到的 SST 变化趋势的区域性差异更为明显。

对比图 3b、图 3c 不难发现,全球部分海域的 SST 变化趋势由冬季占主导,部分海域的 SST 变化趋势由夏季占主导。

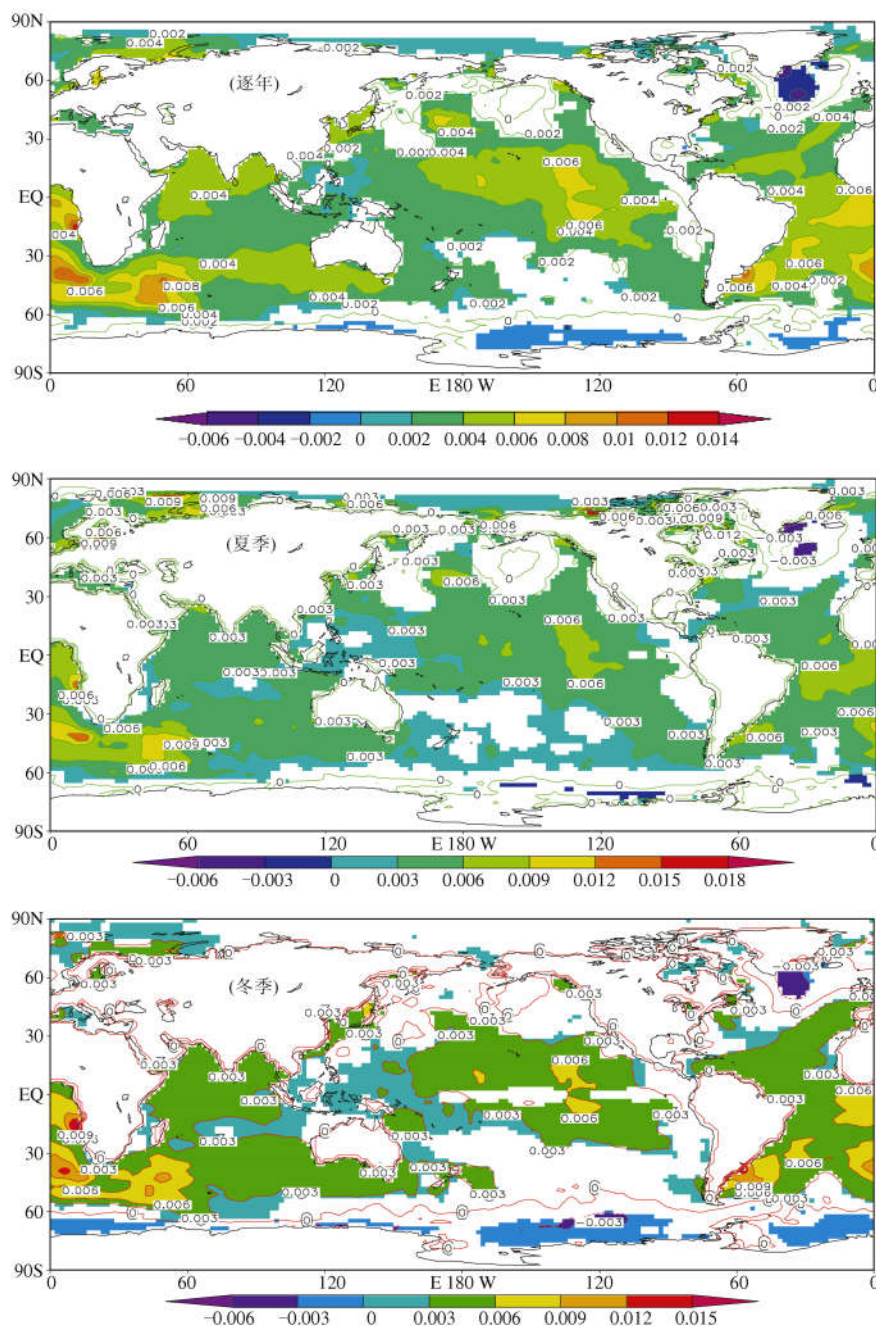


图3 1854~201年 全球海域 SST 逐年、夏季、冬季的线性趋势的回归系数(单位: $^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$)

阴影区表示相关系数 $|r| > r_{0.05} = 0.19$, 线性趋势显著。

Fig. 3 Increasing tendency of SST from year 1854 to 2009, with the areas pass 95% reliability (shaded).

2.4 三大暖池 SST 的变化周期

功率谱、小波分析常用于气象水文要素的周期分析,研究表明功率谱可以较好的分析 SST 的周期^[15],本文将三大暖池的 SST 从 1854~2009 年取逐年平均,得到各暖池 156 个时次的年平均值,用功率谱分析近 150 a 的周期。三大暖池存在各自的显著周期,功率谱估计值都超过了 $\alpha = 0.05$ (95%) 的红噪音检验标准谱,显著性周期分

别为:中东印度洋暖池:2.13~2.38 a、2.56~3.23 a、3.45 a、3.85 a、4.17~5.88 a、100 a;西太平洋暖池:2~2.17 a、2.32~2.56 a、2.7~3.23 a、3.45~3.7 a、5.26~9.09 a、50~100 a;东太平洋暖池:2.04~2.08 a、2.78~3.13 a、3.33~3.85 a、4.17~4.35 a、4.76~5.88 a、6.67~7.14 a、33~100 a。且三大暖池存在 2.78~3.13 a、3.45 a、5.26~5.88 a 的共同周期和 100 a 的长周期震荡,其中 3.45 a 的

共同周期与厄尔尼诺 4 a 左右的周期^[16-17]相近,之间的联系有待进一步研究。

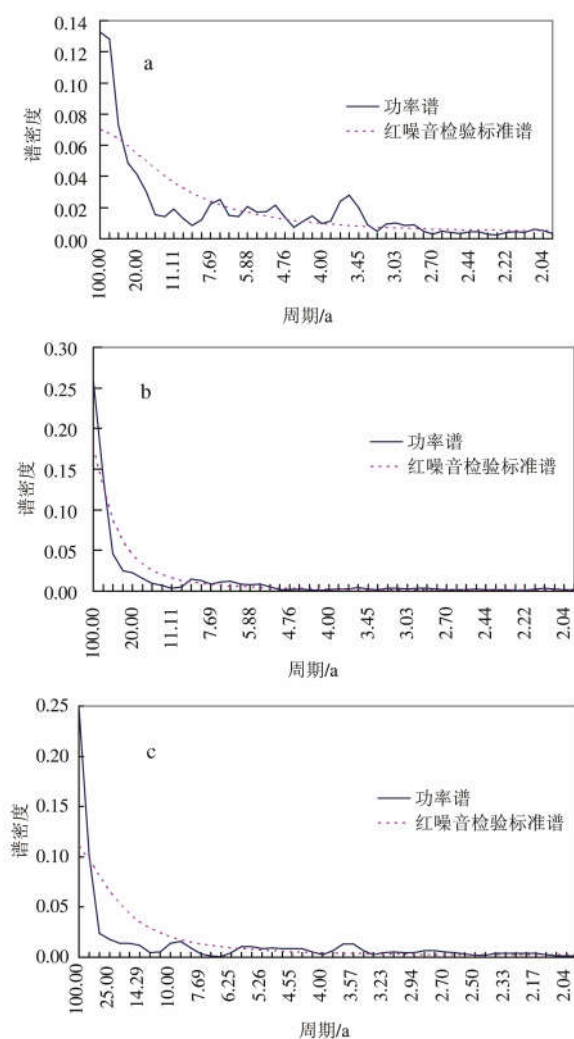


图 4 a-c:东太平洋暖池、西太平洋暖池、中东印度洋暖池的功率谱分析

Fig. 3 Power spectrum analysis of the three warm pools.

3 结 论

(1)全球大部分海域 SST 呈显著的逐年线性递增趋势,仅在冰岛西南部海域、两极部分海域呈显著的递减趋势,线性递增趋势较强的海域主要集中在北太平洋中部海域、赤道中东太平洋、南大西洋大部分海域、南印度洋西部海域,与全球变暖的大背景相吻合。

(2)全球部分海域的 SST 变化趋势由冬季占主导,部分海域的 SST 变化趋势由夏季占主导。

(3)全球海域存在三大永久性暖池:中东印度洋暖池、西太平洋暖池、东太平洋暖池。中东印度洋和东太平洋暖池 SST 的月变化存在一主峰一次峰,西太平洋暖池 SST 的月变化较为平缓,且三大暖池具有 2.78 ~ 3.13 a、3.45 a、5.26 ~ 5.88 a 左右的共同周期及 100 a 的长周期震荡。

参考文献:

- [1] 刘岳峰,郭伦,韩慕康,等. 辽河三角洲地区海平面上升趋势及其影响评估[J]. 海洋学报,1998,20(2):73-82.
- [2] 郑崇伟,潘静,黄刚. 利用 WW3 模式实现中国海击水概率数值预报[J]. 北京航空航天大学学报,2014,40(3):314-320.
- [3] 冯琳,林霄. 1945 ~ 2006 年东中国海海面温度的长期变化趋势[J]. 中国海洋大学学报,2009,39(1):13-18.
- [4] 潘蔚娟,钱光明,余克服,等. 华南近海近 40 年的实测 SST 变化特征[J]. 热带气象学报,2007,23(3):271-276.
- [5] 张秀芝,裴越芳,吴迅英. 近百年中国近海海面温度变化[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):799-807.
- [6] 王绍武. 现代气候学概论[M]. 北京:气象出版社,2005:60-62.
- [7] 陈锦年,王宏娜,吕心艳. 西太平洋暖池时空分布特征及其与 ENSO 的关系[J]. 海洋学报,2008,30(1):10-19.
- [8] 梅士龙,闵锦忠,孙照渤. 黑潮 SSTa 与赤道太平洋风场及 ENSO 关系初探[J]. 南京气象学院学报,2006,29(3):385-389.
- [9] 张启龙,侯一筠,程明华,等. 东太平洋暖池[J]. 水科学进展,2006,17(5):676-684.
- [10] 刘娜,于卫东,陈红霞,等. 印度洋-太平洋暖池年代际变化及其大气响应[J]. 水科学进展,2005,23(3):249-255.
- [11] 邱东晓,黄菲,杨宇星. 东印度洋-西太平洋暖池的年代际变化特征研究[J]. 中国海洋大学学报,2007,37(4):525-532.
- [12] 王国,张青松. 400 年来北极巴罗角的温度变化特征[J]. 极地研究,1998,10(1):11-16.
- [13] 郑崇伟,庄卉,李训强,等. 基于两种数据集的全球 SST 变化趋势的对比研究[J]. 海洋科学进展,2012,30(2):171-176.
- [14] 郑崇伟,周林,宋帅,等. 1870-2011 年全球海域 SST 变化趋势[J]. 海洋与湖沼,2013,44(5):1123-1129.
- [15] 王绍武. 现代气候学概论[M]. 北京:气象出版社,2005:3-5.
- [16] 吴宜进, WILLIAN A G, 姜彤. 历史时期长江中游水灾与厄尔尼诺事件的遥相关[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(3):376-380.
- [17] 郭文娟,张佳华,孙卫国. 近 50 年海面温度的多时间尺度分析[J]. 兰州大学学报,2006,42(3):52-56.