

索马里东岸温度锋季节分布特征分析

刘鹏¹, 张永刚¹, 曹震卿¹, 巨泽光²

(1. 海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018; 2. 北海舰队航空兵航管气象处, 山东青岛 266000)

摘要: 基于50 a的SODA的温度数据,利用绝对梯度分析法求出锋面的概率分布,对索马里东岸的温度锋面的分布特征进行了分析。此外利用WOA13的温盐数据,对锋区出现概率较大海区的声速剖面进行了分析。结果表明:温度锋面在浅水处的概率分布与深水处存在异同,锋面主要集中分布在6—10月、6°~10°N沿岸附近,通过研究SODA海流数据,发现锋面分布概率较大的海域有着明显的上升流。利用EOF分析,发现温度锋面的年际变化并不强,主要是年内的季节变化较为明显。声速剖面在有无锋面存在的位置处存在明显差异,上升流带来的底层冷水导致声速要明显小于其他区域,锋面同一位置处,由于夏季锋强最大,锋区的声速也明显小于其他季节。

关键词: SODA; WOA13; 温度锋; 声速

中图分类号: P731.11 **文献标识码:** A

文章编号: 1003-0239(2017)06-0048-09

1 引言

海洋锋一般是指特性明显不同的两种或几种水体之间的狭窄过渡带。狭义而言,有人将其定义为水团之间的边界线。广义地说,可泛指任一种海洋环境参数的跃变带,因而出现了诸如水温锋、盐度锋、密度锋、声速锋、水色锋、透明度锋,以及海水化学、生物等等要素的海洋锋的称谓^[1]。

索马里半岛位于非洲东北部,其东部沿海地区存在着随季节变化的季风及海流,因此该海域的水文环境异常复杂。随着中国在中东地区的商业贸易以及护航任务的日趋频繁,其战略位置也愈发重要。目前国内外对于这片海域的研究大多都集中在对这一海域的海温年际变化、流系的三维结构、海流对季风的响应等方面,如曹宗元^[2]利用SODA数据对索马里流系的三维结构及其季节变化和年

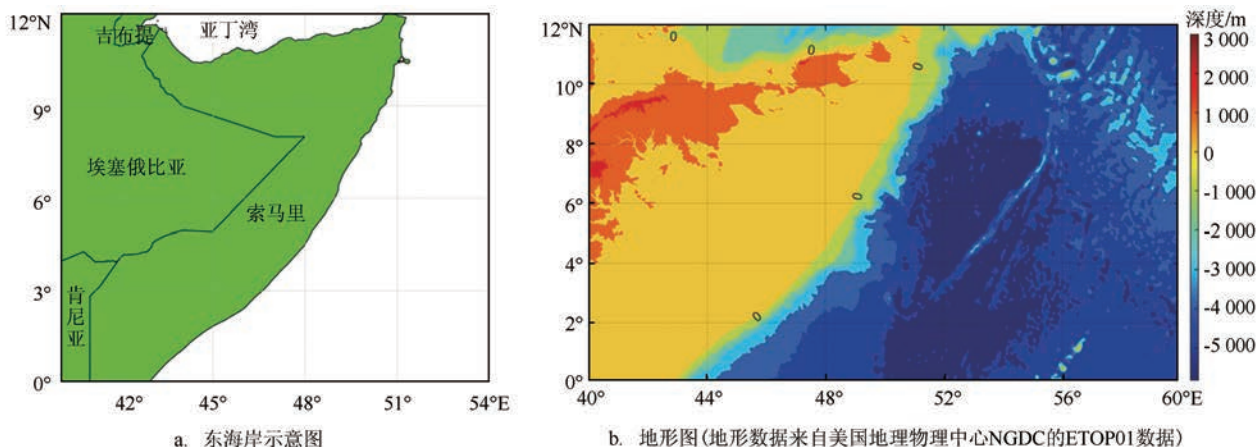


图1 索马里地图

收稿日期: 2017-06-21; 修回日期: 2017-07-17。

作者简介: 刘鹏(1993-),男,硕士在读,主要从事世界大洋海洋锋面研究。E-mail: 515540650@qq.com

际变化进行了分析,赵芳^[3]利用 Argo 海温资料和 SODA 资料对索马里东岸的海温时空变化进行了研究, Sschott^[4]对索马里上升流与季风的相应做了研究分析。然而,对于索马里东海岸的温度锋面研究较少,也很少研究锋面对水声传播的影响。本文利用 SODA 数据,分析了该海域 50 a 的温度锋面逐月平均分布特征,并利用 WOA13 数据分析了锋区声速剖面的分布。

2 数据及方法介绍

2.1 数据介绍

本文用来分析锋面的数据是来自美国马里兰大学 (<http://dsrs.atmos.umd.edu/DATA/>) 的简单海洋同化数据 (Simple Ocean Data Assimilation, SODA) 的月平均数据资料。SODA 海洋数据集包含的变量有温度、盐度、海流速度、海表风应力、海洋上层 0~500 m 热含量、海洋上层 0~125 m 热含量、海平面高度等。SODA 数据的时间分布为 1871 年 1 月—2010 年 12 月,水平分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,垂向上覆盖了水深 5.01~5 375 m 不等的 40 层。本文所用的是 1960 年 1 月—2009 年 12 月的温度数据,以及 2000 年 1 月—2004 年 12 月的海流数据。

用来分析声速断面的是来自美国国家海洋大气局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 的国家海洋数据中心海洋气象实验室的海洋气候态数据集产品 WOA13 (World Ocean Atlas 13) 数据 (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html>)。该数据包括了全球从 1955—2012 年的温度、盐度、溶解氧、磷酸盐、硅酸盐等海洋要素数据,时间上分为年平均、季节平均、月平均数据,空间分辨率有 5° 、 1° 、 $1/4^\circ$ 等 3 种,在深度上,利用内插值的方法,从表层到最大深度 5 500 m 分为了 102 层,其中 0~100 m 每 5 m 一层,100~500 m 每 25 m 一层,500~2 000 m 每 50 m 一层,2 000~5 500 m 每 100 m 一层。本文选用的是 1955—2012 年、空间分辨率 $1/4^\circ$ 的季节平均的温度和盐度数据。

2.2 方法介绍

锋面的提取,国内外有许多人做过研究,主要是温度梯度法,如刘建斌等^[5-6]曾用绝对梯度分析法

提取了印尼西岸的稳盐锋面和阿尔沃兰海锋面,国外的 Moore 等^[7]、Park 等^[8]、Wang 等^[9]利用温度梯度法分析了不同海区的海洋锋面并获得较好的效果,本文同样采取该方法提取了温度锋面,其中绝对梯度的定义为:

$$|\nabla T| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial Y}\right)^2} \quad (1)$$

式中: T 为所要算的要素,本文为海水温度。

赵宝宏等^[10]和朱凤芹等^[11]利用锋面有效概率分布来分析锋面,都能够较好地判断出锋面随时间的分布规律和主要分布区域。根据索马里东海岸温度梯度的平均分布,并考虑资料的差异性,本文选取 $0.015^\circ\text{C}/\text{km}$ 作为温度锋面的判断标准。即某点的梯度大于判断标准,则把该点看做出现点。按照式(2)计算各点在 50 a 中的各月出现锋的概率 P ,并选取概率大于 0.5 的区域作为锋出现的区域。

$$P = \frac{n}{N} \quad (2)$$

式中: N 表示 50 a 中该点有效观测数据次数, n 表示 50 a 中该点出现锋的次数。

2.3 声速计算

关于声速计算公式目前已经建立了几十种,这些公式大多包含从几项到几十项不等的参数,各公式对于海水温度、盐度和压力的适用范围也有所不同。本文基于 WOA13 温盐数据,使用 Mackenzie 声速经验公式^[12] 计算了该海域的声速剖面。

3 分析与讨论

3.1 锋面分布特征分析

根据前文所介绍方法,作出在水深 500 m 以浅的逐月温度梯度分布图,图 2 分别为 1960 年 1—12 月在水深 96.92 m、171.4 m 的温度梯度分布图。由图可知:温度锋面在水深 96.92 m 处主要存在于 6—10 月,11 月之后锋面逐渐减弱,到次年 1 月锋面消失,6 月开始锋面又开始逐渐增强。温度锋面存在的主要位置在索马里沿岸地区 $6^\circ \sim 10^\circ\text{N}$ 、 $50^\circ \sim 53^\circ\text{E}$ 之间。其中 6、7、8 月锋面分布范围较广,但是锋面强度较小;9、10 月锋面集中在 $8^\circ \sim 10^\circ\text{N}$ 、 $51^\circ \sim 52^\circ\text{E}$ 沿岸海域,但是锋面强度较大。在水深 171.4 m 处,温度锋面主要存在于 7—12 月,且出现一个环状的

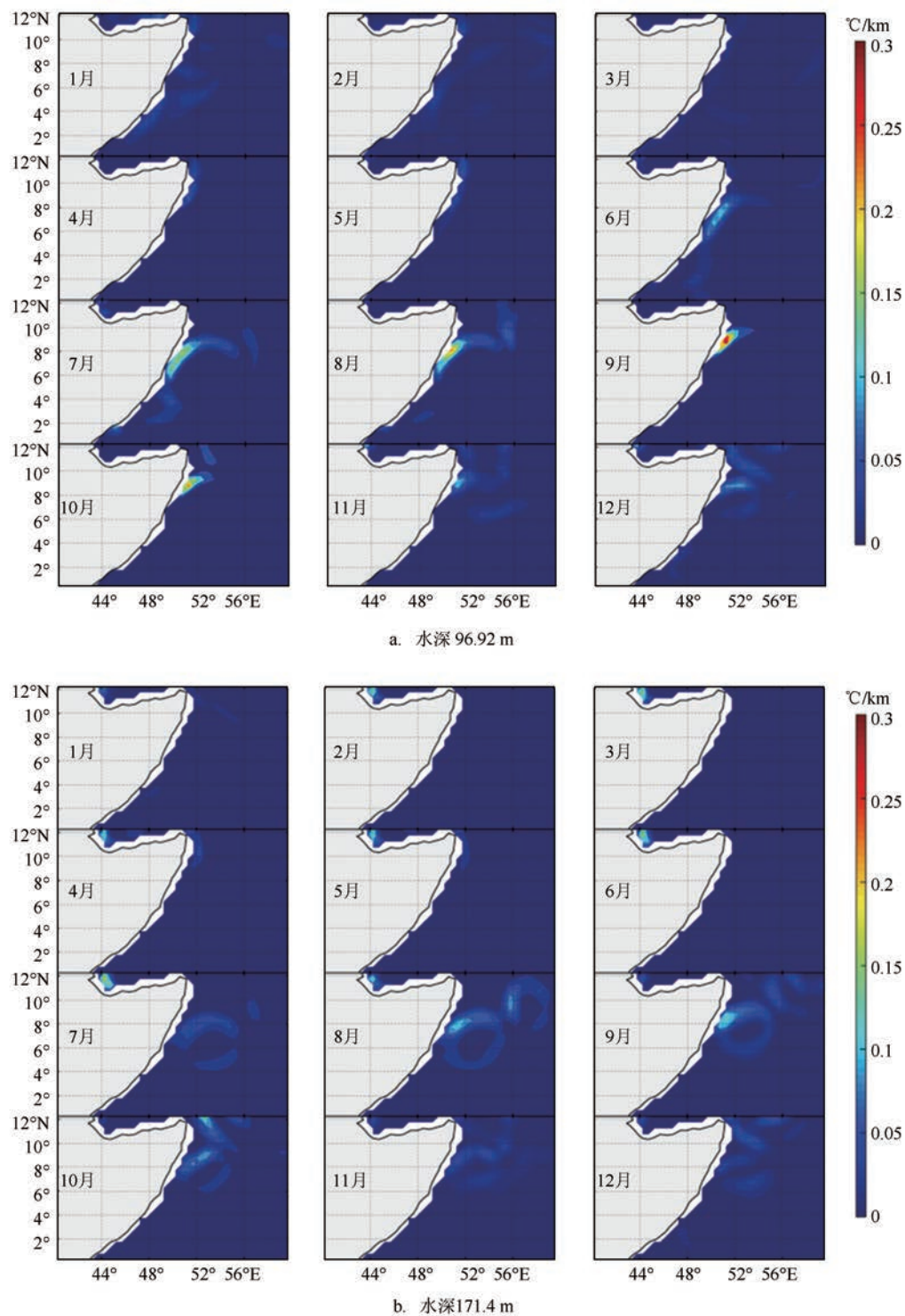


图2 1960年1—12月不同水深温度梯度分布

锋面,这与该区域存在的一个反气旋型涡旋有关^[2]。另外观察其他更深水深层的温度梯度可以发现从水深 268.46 m 开始,温度锋面消失(图略)。

分别作出水深 15.07、57.98、96.92 m 处的锋面概率分布特征图(见图 3—5)。图中只给出了锋面在 50 a 中出现概率大于 50%,即 50 a 中能出现 25 次

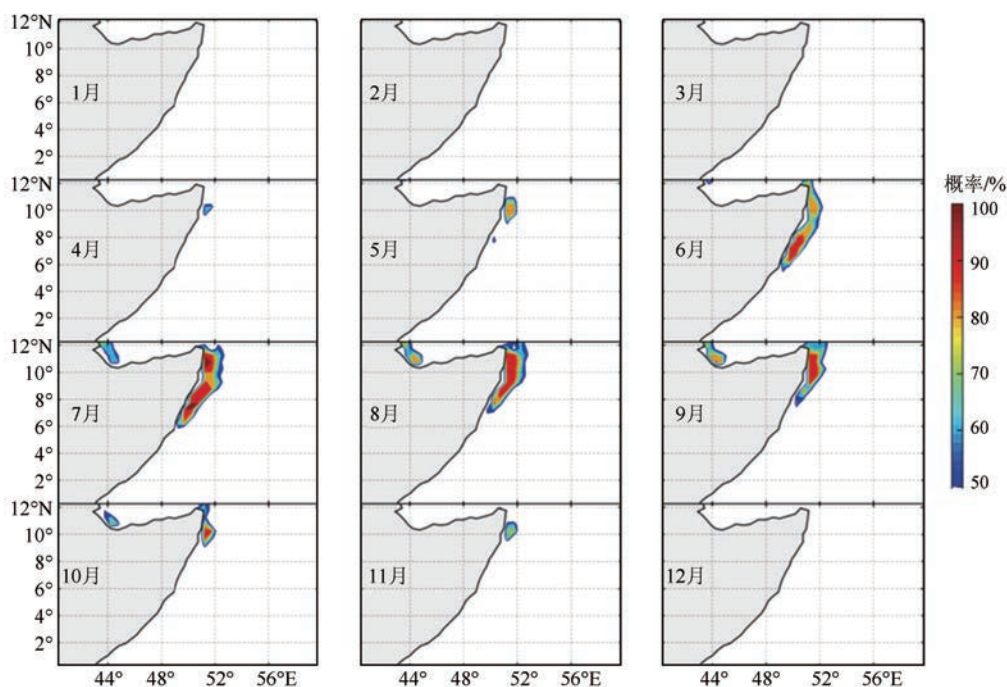


图3 1—12月水深15.07 m处出现概率大于50%的温度锋

以上的区域,这些区域能够很好地代表温度锋面存在的主要区域。

水深15.07 m处的温度锋50 a的概率分布如图3所示,由图可知:1—3月几乎没有锋面存在,4月份开始,从索马里东北角 $12^{\circ}\sim 6^{\circ}\text{N}$ 的沿岸海域,逐渐出现稳定的温度锋面,7月份锋面范围达到最大,且概率分布值大多达到90%以上,7月以后,锋面逐渐减弱,到11月锋面分布范围逐渐趋近于0。总体来说,锋面出现概率较大的区域在6—9月, $6^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 沿海岸域。

水深57.98 m处的温度锋50 a的概率分布如图4所示,由图可知:对比水深15.07 m处的锋面概率分布图,可以发现水深57.98 m处温度锋面的分布范围明显要更大,可见冷暖水团在此处比浅层混合更剧烈。1—2月温度锋基本不存在,3月开始,在 10°N 沿岸出现小范围的锋面,且概率分布值只在50%左右,4月以后锋面分布逐渐向南部扩散,6月份的时候在 2°N 沿岸附近也开始出现了少量温度锋面,7月锋面分布范围达到最广且在 8°N 沿岸附近概率分布值接近于100%,8月以后锋面分布逐渐减小且在 11°N 、 55°E 出现一个概率较小的锋面,9月

2°N 处锋面消失,但 10°N 以北锋面向东部延伸到 55°E ,10月索马里东岸的锋面主要集中在 $8^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 沿岸,11—12月锋面逐渐减弱直至消失。总体来说,锋面出现概率较大的区域在6—9月, $6^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 沿海岸域。

水深96.92 m处的温度锋50 a的概率分布如图5所示,由图可知:与浅水处不一样的是,水深96.92 m处在1—3月也存在温度锋面,1月锋面主要包括 $9^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 和 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 两处,2月锋面范围比1月小,只在 $10^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 和 4°N 附近存在两个范围很小的锋面,3月南部的锋面消失,只在 $8^{\circ}\sim 11^{\circ}\text{N}$ 处存在锋面,4月锋面范围逐渐开始扩散,且分布概率值也开始增大,4、5月锋面主要存在于 $7^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$,6月锋面向南移动 1°W 纬度的距离,7月锋面向东南扩散且范围增大,存在 $2^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 和 2°N 沿岸两处锋面,8月锋面向东北扩散,存在 $6^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 和 2°N 沿岸两处锋面,北部的锋面向东扩散到 56°E 附近,9月锋面开始收缩,集中在 $6^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 这一海域,10—12月锋面分布逐渐减弱,集中在 $8^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{N}$ 沿海岸域。总体来说,锋面出现概率较大的区域在6—10月, $6^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 沿海岸域。

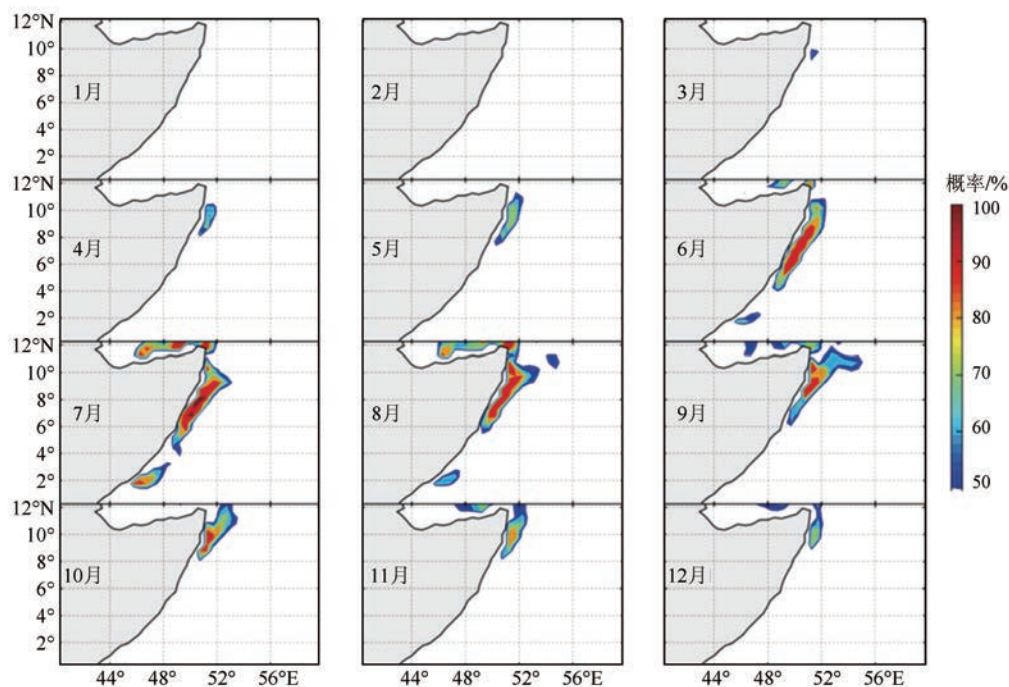


图4 1—12月水深57.98 m处出现概率大于50%的温度锋

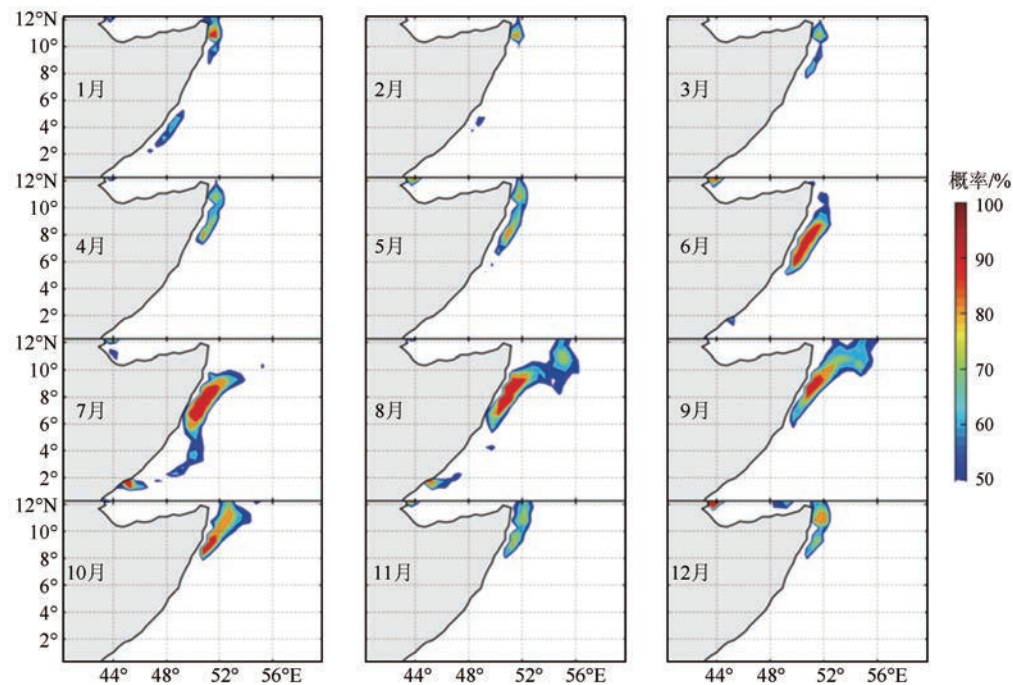


图5 1—12月水深96.92 m处出现概率大于50%的温度锋

总的说来,锋面的概率分布图与温度梯度图是比较吻合的,这也说明了利用锋面概率分布可以有效预测出锋面可能出现的位置和时间。此外根

据各水深层温度锋面的分布特点,可以发现锋面主要集中在6—9月、7°~9°N沿岸海域,根据以往资料显示,该海域存在较强的上升流,如图6所

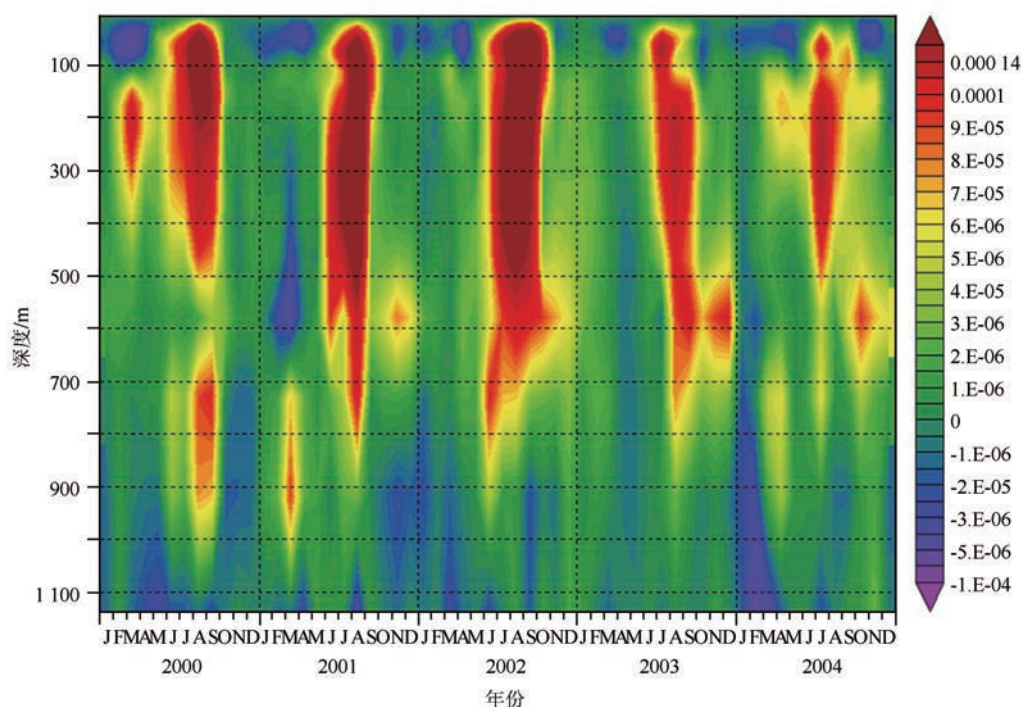


图6 51.2°E、9.2°N处2000—2004年垂向流随时间的变化(流向向上为正值,向下为负值)

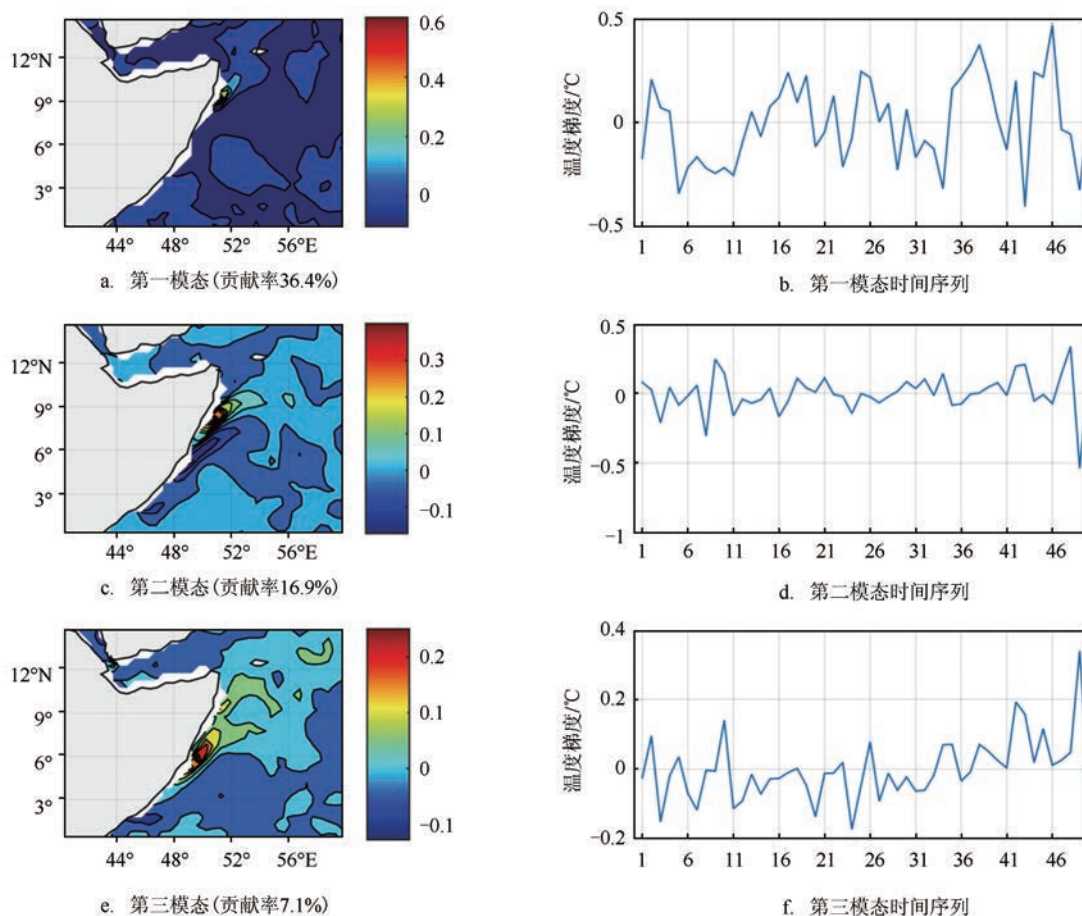


图7 水深96.92 m处夏季(7—10月)温度梯度的EOF

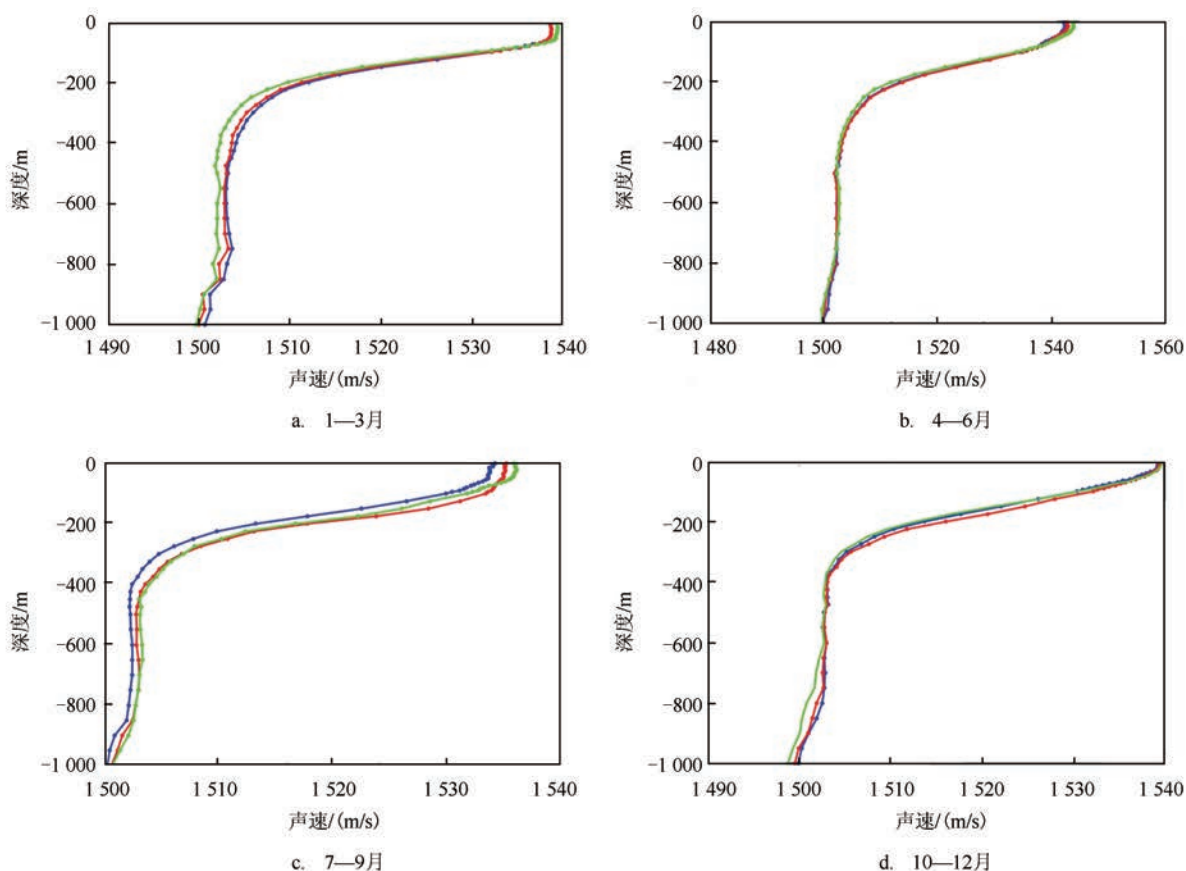


图8 四季声速剖面图(蓝、红、绿线分别代表 $(9^{\circ}\text{N}, 52^{\circ}\text{E})$ 、 $(9^{\circ}\text{N}, 53^{\circ}\text{E})$ 、 $(9^{\circ}\text{N}, 54^{\circ}\text{E})$ 3处的声速剖面)

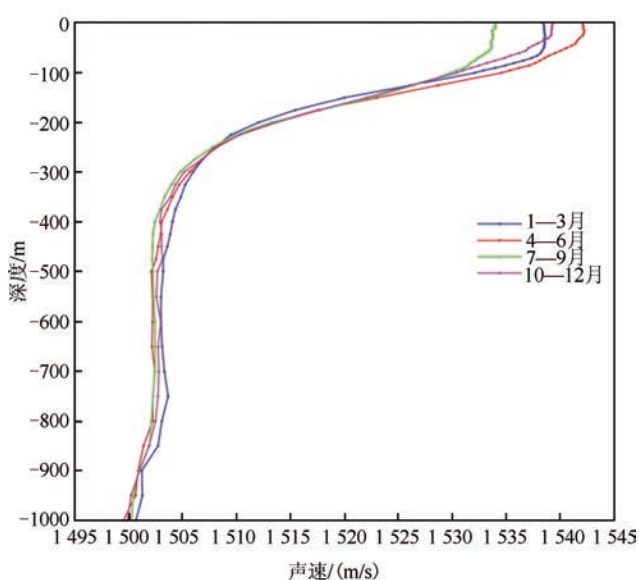


图9 $9^{\circ}\text{N}, 52^{\circ}\text{E}$ 四季声速剖面图

示为 51.2°E 、 9.2°N 处2000—2004年垂向流随时间的变化,由图可见:上升流主要存在于6—9月、水深700 m以浅。在夏季的时候,上升流带来的底层冷水与海表的高温海水的混合,从而造成了两个不同水团的过渡带,即形成了温度锋面。由温度梯度图可知锋面主要存在区域在水深300 m以浅,可见并不是上升流所存在区域全都存在锋面,而是上升流所带来的冷水与表层暖水的过渡区域存在锋面。

3.2 EOF分析结果

对锋面较明显的96.92 m水深夏季(7—9月)的50 a(1960—2009年)温度梯度距平场做EOF分解(见图7)。由图可见:前3个模态贡献率之和有60.4%,第一模态在 $9^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 的沿岸海区的很小的一个区域内存在一个正位相中心,时间序列的分布变化较为剧烈,其中时间系数为正值时,代表正位相中心所在区域温度梯度增大,时间系数为负值时,正位相中心所在区域温度梯度减小,总体上看

第一模态的周期性并不是很明显,但是可以看出在1976—1986年和1994—2005年这两个时间段,温度梯度总体呈现增大趋势。第二模态在 $8^{\circ}\sim 9^{\circ}\text{N}$ 的沿岸海区存在一个正位相中心,时间序列的变化大致为一年正一年负的循环变化,变化幅度不是很大。第三模态在 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}\text{N}$ 沿岸海区存在一个正位相中心,时间序列在1991—2009年呈上升趋势,可见该海区的温度梯度在有逐渐增大的趋势。总体分析这3个模态,可以知道各个模态分别对应不同海区的温度锋面的时空变化特征,且总的来看索马里东岸海区的温度梯度变化的年际变化并不是很明显。

3.3 声速剖面分析

基于WOA13的温盐数据,选择锋面上强度较大的点 9°N 、 51°E ,分析其所在位置声速剖面,并与东部另外两个锋强较弱和无锋面的两个位置对比,由图8可知:在锋强较小的冬春秋季,这3处位置声速剖面分布差别不大,主要差异在于表层声速的差异,近岸处由于水温较低,声速较小。在夏季,上升流导致的温度锋面处声速明显异于无锋面处,其声速在锋面所在水深 $0\sim 200\text{ m}$ 处要低于其他两处,且一直延伸到水深 $1\ 000\text{ m}$ 处,声速仍然最小。为了更好对比该点声速剖面随时间变化的差异,做出如图9所示的 9°N 、 52°E 四季的声速剖面,可以发现夏季的声速在水深 $0\sim 200\text{ m}$ 处是明显低于其他季节的,秋冬两季表层声速差异较小,夏季表层声速与春季表层声速相差了 8 m/s ,水深 250 m 附近四季声速大小达到相同值,水深 250 m 以深,声速差异较小。

4 结论

通过利用50 a的SODA温度数据和WOA13温盐数据,对索马里东岸水深 $5\sim 100\text{ m}$ 处的温度锋的分布特征与锋区声速剖面进行了分析,得出了以下结论:

(1)温度锋面所在的区域,水深浅处的概率分布与较深处存在异同,且锋面主要集中分布在6—10月,其他月份的锋面的分布范围及概率分布均较小;

(2)锋面主要集中分布在 $6^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 沿岸附近,

且在6—10月锋面分布概率较大的海域,其上升流也较为强烈,上升流带来的底层冷水团与海表的高温水团的混合,形成了温度锋面,可见上升流对该海域温度锋面有着极其重要的影响;

(3)根据温度梯度的EOF分析,空间场的前3个模态分别对应温度锋面从北到南的3个不同海区,时间场上,年际变化并不是很明显,第二模态的时间序列周期性较强,呈现一年正一年负的循环。这也说明此片海区的温度锋面的年际变化并不强,主要的变化为年内的季节变化;

(4)声速剖面在有无锋面位置处存在明显差异,上升流带来的底层冷水导致声速要明显小于其他区域。锋面同一位置处,在锋强最大的夏季,锋区的声速也明显小于其他季节。

参考文献:

- [1] 冯士筌,李凤歧,李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 470-479.
- [2] 曹宗元. 索马里流系的三维结构及其季节与年际变化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [3] 赵芳. 索马里流系区域海温时空变化研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [4] Schott F. Monsoon Response of the Somali Current and Associated Upwelling[J]. *Progress in Oceanography*, 1983, 12(3): 357-381.
- [5] 刘建斌, 张永刚. 印度尼西亚西岸温盐锋时空变化特征[J]. *海洋预报*, 2015, 32(5): 14-23.
- [6] 刘建斌, 张永刚. 阿尔沃兰海海洋锋时气候变化特征[J]. *海洋预报*, 2016, 33(1): 37-44.
- [7] Moore J K, Abbott M R, Richman J G. Variability in the Location of the Antarctic Polar Front ($90^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{W}$) from Satellite Sea Surface Temperature Data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(C13): 27825-27833.
- [8] Park K A, Chung J Y, Kim K. Sea Surface Temperature Fronts in the East (Japan) Sea and Temporal Variations[J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(7): L07304.
- [9] Wang D X, Liu Y, Qi Y Q, et al. Seasonal Variability of Thermal Fronts in the northern South China Sea from Satellite Data[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(20): 3963-3966.
- [10] 赵宝宏, 刘宇迪, 赵加华, 等. 南海海洋锋季节分布特征初探[C]// 2011年第二十八届中国气象学会年会论文集. 厦门: 中国气象学会, 2011.
- [11] 朱凤芹, 谢玲玲, 成印河. 南海温度锋的分布特征及季节变化[J]. *海洋与湖沼*, 2014, 45(4): 695-702.
- [12] Mackenzie K V. Nine-Term Equation for Sound Speed in the Oceans[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1981, 70(3): 807-812.

Analysis on seasonal distribution of temperature front in Somalia East Coast

LIU Peng¹, ZHANG Yong-gang¹, CAO Zhen-qing¹, JU Ze-guang²

(1. Dalian Naval Academy, Dalian 116018 China; 2. North ocean fleet air traffic control meteorological office, Qingdao 266000 China)

Abstract: Based on the 50 years temperature data from SODA, the probability distribution of the temperature fronts was obtained by the absolute gradient analysis method. The characteristics of the temperature fronts at the east coast of Somalia were analyzed. Based on the temperature and salinity data of WOA13, sound velocity profiles were analyzed. The results showed that the probability distribution of the temperature fronts in the shallow water was a little different from that in the deep water, and the fronts were mainly distributed in the vicinity of 6—10 months and $6^{\circ} \sim 10^{\circ} \text{N}$. There was a significant increase in the area with large probability of frontal distribution flow. The sound velocity profile in the front area was obviously different from that of other areas. The cold water from the bottom of the upwelling current caused the sound velocity to be significantly smaller than the other areas. At the same position, the sound velocity of the front area is obviously smaller than that of other seasons.

Key words: SODA; WOA13; Temperature fronts; Sound velocity