

南海温度锋的分布特征及季节变化*

朱凤芹 谢玲玲 成印河

(广东海洋大学广东省近海海洋变化与灾害预警技术重点实验室 湛江 524088)

提要 利用 50a(1950—2007 年)的 SODA(Simple Ocean Data Assimilation)数据分析了南海上层温度锋分布特征以及季节变化规律。结果表明:受季风、太阳辐照以及诸多因素影响,温度锋季节变化明显,锋面结构复杂。冬季,温度锋基本沿陆架分布,存在于南海北部海区,从台湾海峡一直延伸到北部湾,发育比较显著;春季,主要出现在南海北部海区、北部湾、越南东部海岸,分布比较广泛;夏季温度锋出现概率增加,出现区域扩大,越南东部出现大面积温度锋;秋季南海中西部海域存在大面积的温度锋。

关键词 温度锋;南海;季节变化;分布特征

中图分类号 P731 **doi:** 10.11693/hyhz20130600075

海洋锋指水平方向毗邻的两种不同性质的水团的边界,是海洋学研究的一个重要领域。海洋锋处海水温、盐、密、声速等多个海洋要素出现较大的梯度,在这些区域内,水声传播会导至声学异常现象(Lynch *et al.*, 2003; 李玉阳等, 2006; Rutenko, 2006)。同时锋面亦是海水的辐聚区,海洋锋研究对海洋渔业、海气相互作用、海难救助等方面具有重要的应用价值。

以前由于缺乏有组织的观测和有关大洋锋热力学的实际资料,对海洋锋的研究不够深入。近年来不少单位(中国科学院南海海洋研究所、中国海洋大学、广东海洋大学等)先后组织了航次观测,获得了一些锋区处的水文资料,结合卫星遥感资料,人们对海洋锋的研究日趋深入(汤毓祥, 1996; 杨海军, 1998; Wang *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2008; Yao *et al.*, 2012)。本文根据计算的概率分布给出 0—50m 深度温度锋的出现区域,并给出了温度锋的逐月变化特征。

1 资料和方法

1.1 资料

本文使用的同化数据是 SODA(Simple Ocean

Data Assimilation)的月平均数据资料。SODA 数据是由美国马里兰大学(UMD)和美国德州农工大学(TAMU)共同研制开发的再分析产品,采用的数值模式为美国地球物理流体实验室(GFDL)的 MOM2,后来又引入了以 POP 数值方法和 SODA 程序为基础的全球海洋环流模式(General Circulation Ocean Model),并在运行过程中同化了多年的海洋观测资料,时间跨度为 1958 年 1 月—2007 年 12 月,水平分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,垂直方向上的分辨率为不等间距,共 40 层,每一层的深度分别为 5.01、15.07、25.28、35.76、46.61、57.98、70.02、82.92、96.92、112.32、129.49、148.96、171.4、197.79、229.48、268.46、317.65、381.39、465.91、579.31、729.35、918.37、1139.15、1378.57、1625.7、1875.11、2125.01、2375、2625、2875、3125、3375、3625、3875、4125、4375、4625、4875、5125、5375m。本文用到的数据是经纬度范围为 99° — 124°E , 1° — 25°N 的海温数据,选择对海表到 50m 水深进行研究。数据下载地址: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p0p2-4/>。

1.2 锋面的确定

采用水平方向温度梯度获取锋面(Park *et al.*, 2008),如公式(1)所示:

*国家自然科学基金-广东联合基金项目, U0933001 号; 国家自然科学基金项目, 41106012 号, 41106011 号。朱凤芹, E-mail: fqzhu_07@163.com

收稿日期: 2013-06-13, 收修改稿日期: 2013-11-28

$$T(i) = \sqrt{\left(\frac{\partial T(i)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T(i)}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

其中 T 表示温度。利用公式(1)计算了 5.01、15.07、25.28、46.61m 深度处的锋面。

1.3 锋面的概率分布

选取 $0.01^\circ\text{C}/\text{km}$ 作为锋面的判断标准, 即某点的梯度大于判断标准, 则把该点看做出现点。按照公式(2)计算各点在 50a 中的各月出现锋的概率 P , 并选取概率大于 0.4 的区域作为锋出现的区域(赵宝宏等, 2011)。

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

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

2 结果

对于南海表层以下 5m 的海洋锋, 赵宝宏等(2011)已作介绍。这里主要看 15.07、25.28、46.61m 深度处锋面的季节变化规律。图 1—图 4 给出了概率大于 40% 的出现温度锋面的区域, 也就是在 50a 内出现 20 次锋面的区域。

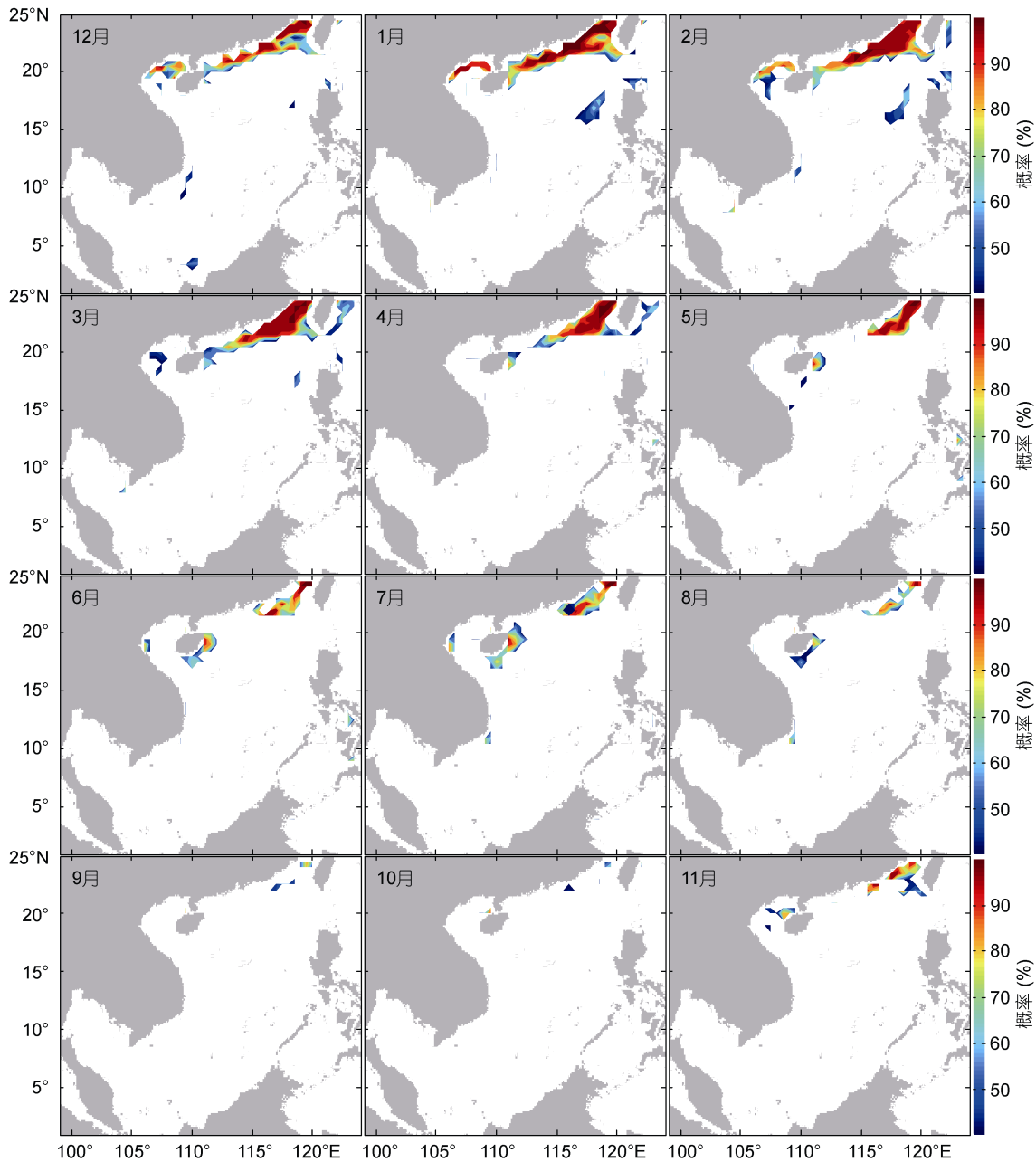


图 1 5.01m 处出现概率大于 40% 的温度锋
Fig.1 Temperature front at 5.01m in frequency >40%

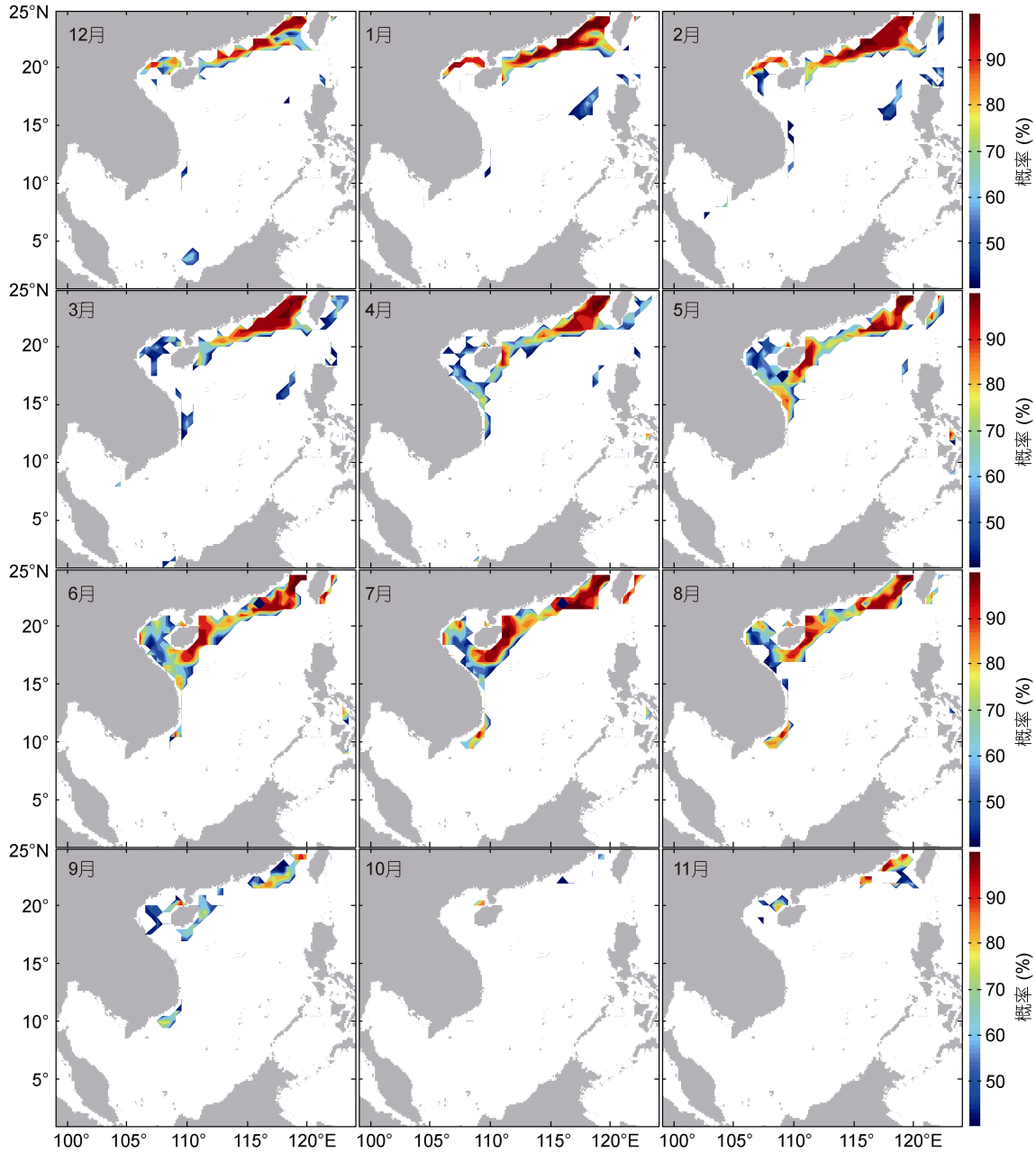


图 2 15.07m 处出现概率大于 40% 的温度锋
 Fig.2 Temperature front at 15.07m in frequency>40%

图 1 给出了 5.01m 处温度锋的出现概率。冬季，南海北部存在从琼东经湛江南部一直到台湾岛以及台湾岛东部沿岸的陆架锋，北部湾也存在稳定的温度锋面，概率分布值大都超过 80% 以上，分布范围比较广泛。12 月份已经形成稳定的锋面，1 月份锋面比较强，2 月份锋面有减弱的趋势。在台湾岛东部，温度锋逐步的发展，到 3 月份时，形成环绕台湾岛的温度锋面。5 月份时，粤西海域以及台湾岛东部海域温度锋面基本消失，只剩台湾海峡到珠三角处以及琼东

东部存在温度锋，北部湾的温度锋也已经消失。夏季，粤西海域锋面进一步衰退，琼东海域的温度锋面却有着持续发展的趋势，北部湾西部也出现小范围的温度锋，温度锋出现的位置大部分位于南海上升流区以及沿岸有径流的地方(吴日升等, 2003)。冬季 9、10 月份，仅在台湾海峡及其他地方存在零星的温度锋面，到了 11 月份，锋面范围又逐渐地发展起来。

锋面的分布反应了不同水系的分布和变化规律，

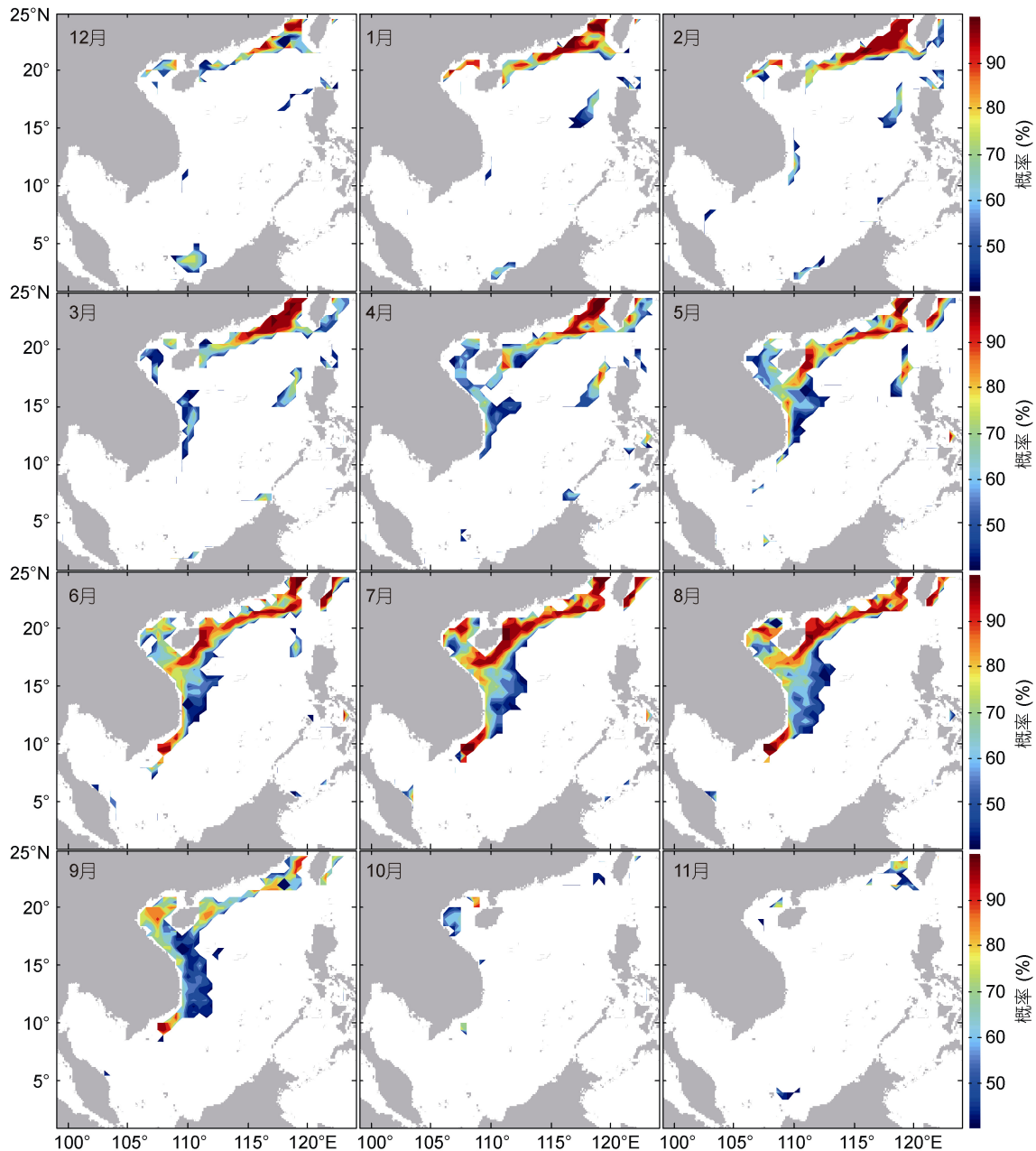


图3 25.28m处出现概率大于40%的温度锋

Fig.3 Temperature front at 25.28m in frequency>40%

在南海南部的海流由岸向海依次有广东沿岸流、南海暖流和黑潮南海分支。广东沿岸流终年向西流动，南海暖流是从海南岛东岸开始沿粤西沿岸，流向东北(NE)方向，黑潮分支是黑潮在巴士海峡的1个分支，流向西南偏西(WSW)方向(伍伯瑜, 1990a, b; 应秩甫, 1999)。冬季，受东北季风的影响，存在着广东沿岸流，温度锋位于南海暖流以及沿岸流之间的位置，2种冷暖水团相遇，形成温度锋面。夏季，由于西南季风的影响，在琼东沿岸、湛江南部海域、大亚湾至台湾海

峡均存在上升流区，底层冷水上涌，导致温度梯度变化增大，温度锋的出现区域大部分位于上升流区(李立, 1990, 2002)。对于台湾海峡处海洋锋，是因为各种水系在此处交汇，冬季和夏季均有存在(李立等, 2000; 吴日升等, 2003; 黄伟良等, 2006)。

对于15m深度处海洋锋(图2)，冬季与5m深度处很相似，由于越靠近近岸，海水深度较浅，冬季较冷的海表水和较强的海表风，使表层混合旺盛并可直至海底，整个海水成为均一层。春季和夏季较5m

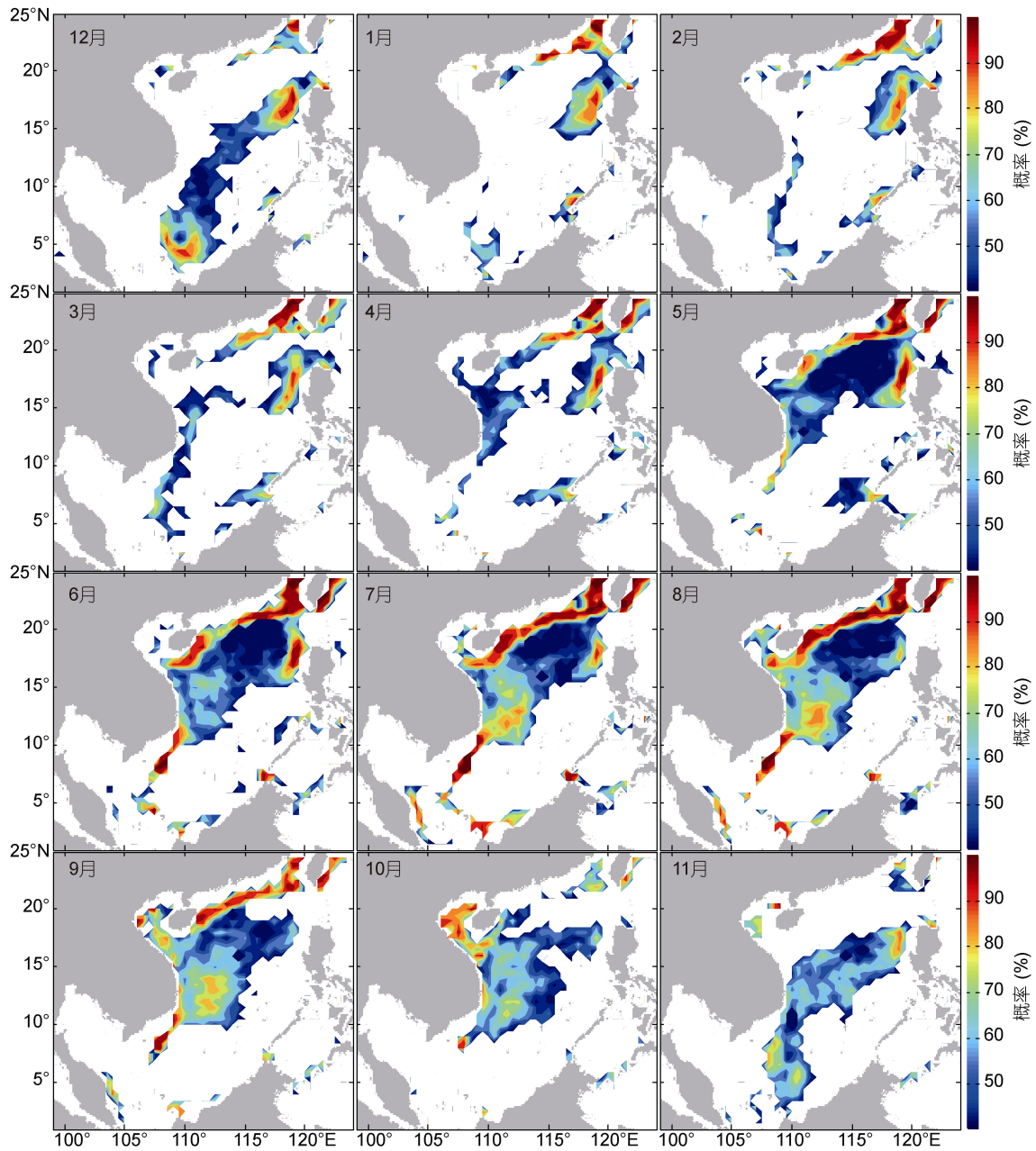


图 4 46.61m 处出现概率大于 40% 的温度锋
 Fig.4 Temperature front at 46.61m in frequency > 40%

深度处，温度锋的出现区域差别比较明显，环绕整个北部湾与海南岛沿着越南东部海岸一直延伸到 10°N，从琼东海域、湛江南部海域一直延伸到台湾岛，出现大面积的温度锋，而且出现概率大于 70%，几乎常年都会出现，位置也比较稳定。直到秋季温度锋才逐渐消失，11 月份又重新生长，一直到冬季成长为稳定的温度锋。温度锋的位置恰与广东外海陆架 200m 等深线位置一致，很可能陆架在温度锋的形成中也起着重要作用(李立, 1996)。

图 3 是 25m 处温度锋出现区域，与 15m 处相比，冬季锋面结构类似，春季在北部湾、绕海南岛以及越南东岸、琼东到台湾岛温度锋连成一片，夏季温度锋出现范围进一步加宽，在越南东部海岸处出现跨越 3°的锋区，向南一直延伸到 10°N。10—11 月份温度锋面仅在北部湾以及台湾岛的西南部出现。温度锋发展强弱的顺序：夏>春>冬>秋。汤毓祥(1996)在分析东海温度锋时，发现夏季中下层温度锋的强度和宽度普遍大于表层，主要是由于夏季，表层水温分布比较均

匀, 表层以下的沿岸区和陆架边缘皆存在强的涌升现象。南海 25m 处温度锋夏季范围变宽, 涌升现象亦是其形成原因之一。

图 4 是 46m 处温度锋出现概率图, 由于地形以及太阳辐射等原因, 海洋锋往海外推移 1—6 个月, 吕宋岛西海岸出现稳定的并且比较强的温度锋; 春夏季, 在中国大陆南部、越南西部近海形成大面积的温度锋, 并连成一体, 秋季和 25m 处类似。3 月份开始, 南海中部开始出现海洋锋, 并逐月迅速向外伸展, 6—9 月份在南海中部大面积出现, 10—12 月西北部逐渐消弱, 南部逐渐扩展, 形成东北-西南走向的海洋锋。王东晓等(2004)指出南海夏季风及其所具有的风应力旋度对南海上层温盐结构的形成具有重要影响。Wyrski(1961)认为, 季风是南海上层环流的主要驱动力。兰健等(2006)通过分析南海温跃层深度的空间分

布特征和季节变化规律, 认为南海环流和多涡结构对南海温跃层具有显著的影响, 南海中部温跃层深度为 30—50m 左右, 具有明显的时空分布特征。46m 位于温跃层内, 温跃层处温度梯度变化较大, 南海较大面积出现海洋锋现象。

南海属于季风区域, 冬季盛行寒冷的东北季风, 夏季盛行温暖的西南季风, 南海上层环流场具有明显的季节差异, 同时南海地形比较复杂, 又是中尺度涡的多发海区, 上述特征必然对南海的温度分布及季节变化有重要影响。图 5 是根据 50a 各层月平均水温做出的, 从图 5 可以看出, 150°N 以北, 冬季表层水温分布基本是东北-西南走向, 与海岸线平行, 靠近陆架处温度梯度较大; 春季由于太阳辐射增强, 北部海域表层平均水温比冬季高 4—5°C; 夏季, 整个海区盛行西南季风, 表层受太阳辐射影响整体升温,

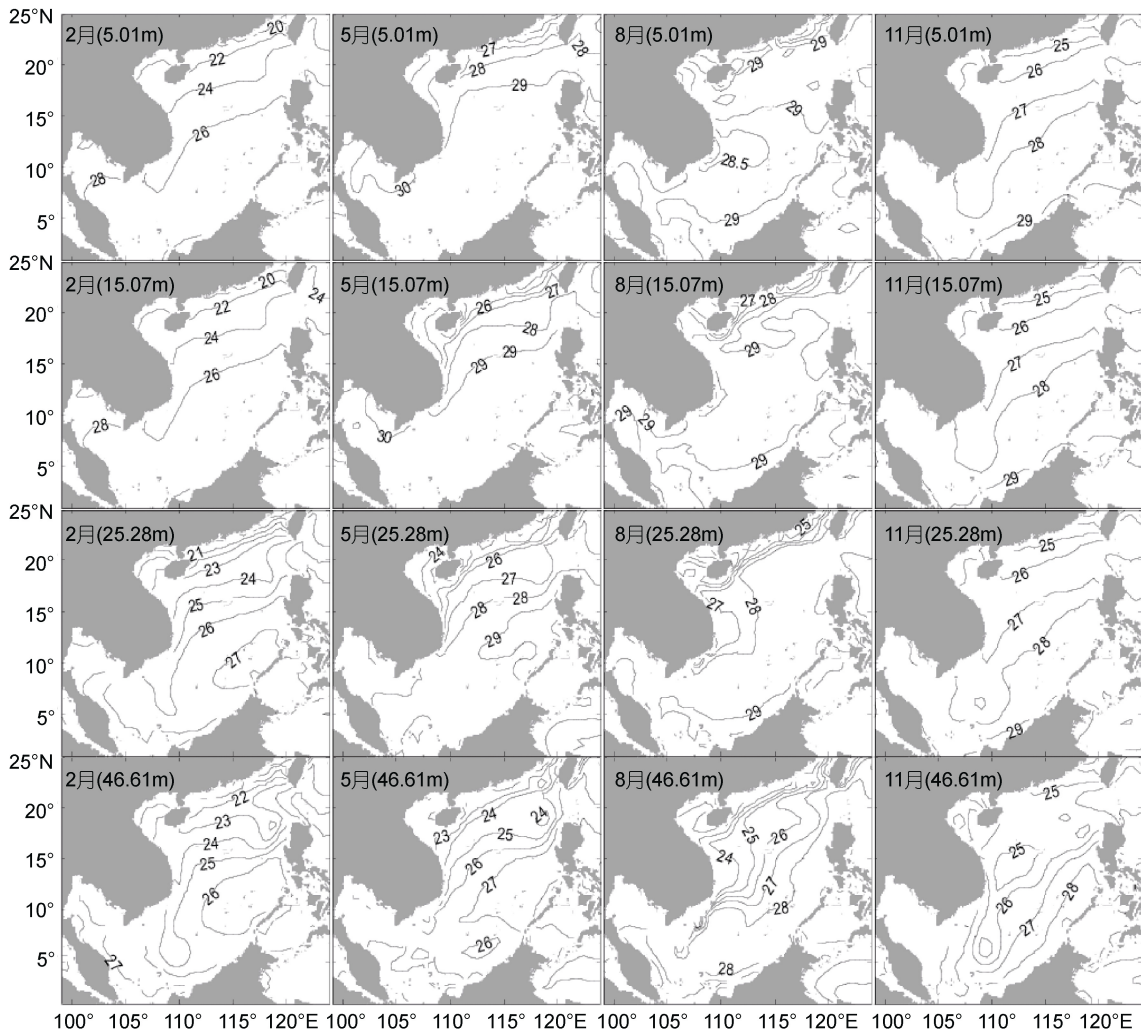


图 5 温度在 4 个深度上不同季节的分布
Fig.5 Average temperature distribution of a year at four depths

温度分布比较均匀; 秋季, 西南季风逐渐消退, 东北季风逐渐建立, 太阳辐射减弱, 海表水温较夏季降低。46.61m 处的水层, 等温线基本接近, 冬季只是在吕宋岛西部温度梯度比较明显, 夏季越南沿岸处温度梯度也比较大, 台湾岛东南部春、夏季温度锋持续存在, 这些现象在图 1—图 4 中都有明显体现。

3 结论

本文利用 SODA 的月平均数据, 给出了 5.01、15.07、25.28、46.61m 深度处温度锋的分布及季节变化的图形。结果表明, 受季风和太阳辐照等原因的影响, 南海表层温度锋季节变化明显。表层 5.01m 处, 冬季南海北部存在平行于海岸线的温度锋, 随深度增加, 温度锋出现面积及强度均增加, 夏季温度锋出现的位置大部分位于南海上升流区以及沿岸有径流的地方, 其它区域则完全消失。15.01—46.61m 之间, 在冬、春、夏季, 环绕整个北部湾与海南岛沿着越南东部海岸, 以及粤西沿岸至台湾海峡处, 温度锋一直存在, 位置比较稳定。和 5.01m 处相比, 46.61m 处温度锋随深度的增加向外海推移, 冬季吕宋岛西部发展比较明显, 夏季越南沿岸处温度梯度也比较大, 靠近中国大陆南部、越南西部形成大面积的温度锋, 并连成一体。

目前我们对海洋锋的研究只限于 46.61m 以上深度, 对 46.61m 以深温度锋的分布特征没有给出, 而且数据来源主要基于卫星遥感数据和传统物理海洋观测数据的融合数据, 这些数据时间跨度和距离跨度都比较大, 对海洋锋细结构研究起来比较困难, 今后的研究可以在海洋锋处加密观测, 并采用声学遥感和卫星遥感相结合的办法, 通过反演方法获取二维高精度的温度、盐度细结构特征(宋海斌等, 2007; 胡毅等, 2009; 宋洋等, 2010), 进一步揭示海洋锋的生消机制。

参 考 文 献

王东晓, 陈 举, 陈荣裕等, 2004. 2000 年 8 月南海中部与南部温盐与环流特征. 海洋与湖沼, 35(2): 97—109
 兰 健, 鲍 颖, 于 非等, 2006. 南海深水海盆环流和温跃层深度的季节变化. 海洋科学进展, 24(4): 436—445
 伍伯瑜, 1990a. 珠江口以西陆架海域环流研究 III. 台湾海峡, 9(2): 118—125
 伍伯瑜, 1990b. 珠江口以西陆架海域环流研究 V. 台湾海峡,

9(4): 331—337
 汤毓祥, 1996. 东海温度锋的分布特征及其季节变异. 海洋与湖沼, 27(4): 436—444
 李玉阳, 笕良龙, 晋朝勃等, 2006. 海洋锋对深海会聚区特征影响研究. 声学技术, 24(02): 166—172
 李 立, 1990. 珠江口以西陆架夏季上升流的研究. 台湾海峡, 9(4): 338—346
 李 立, 1996. 1992 年 3 月南海东北部陆架-陆坡区的海洋锋. 中国海洋学文集(6), 海洋出版社, 北京: 3—44
 李 立, 2002. 南海中尺度海洋现象研究概述. 台湾海峡, 21(2): 265—274
 李 立, 郭小钢, 吴日升, 2000. 台湾海峡南部的海洋锋. 台湾海峡, 19(2): 147—156
 杨海军, 刘秦玉, 1998. 南海上层水温分布的季节特征. 海洋与湖沼, 29(5): 501—507
 吴日升, 李 立, 2003. 南海上升流研究概述. 台湾海峡, 22(02): 269—277
 应秩甫, 1999. 粤西沿岸流及其沿岸沉积. 中山大学学报, 38(3): 85—89
 宋 洋, 宋海斌, 陈 林等, 2010. 利用地震数据反演海水温盐结构. 地球物理学报, 53(11): 2696—2702
 宋海斌, 吴时国, 江为为, 2007. 南海东北部 973 剖面 BSR 及其热流特征. 地球物理学报, 50(5): 1508—1517
 赵宝宏, 刘宇迪, 赵加华等, 2011. 南海海洋锋季节分布特征初探. 第 28 届中国气象学会年会——S17 第三届研究生年会, 中国气象学会, 厦门: 1—16
 胡 毅, 刘怀山, 陈 坚, 2009. 地震海洋学研究进展. 地球物理学报, 24(10): 1094—1104
 黄韦良, 林传兰, 楼 林等, 2006. 台湾海峡及其邻近海域海面温度锋的卫星遥感观测. 海洋学报, 28(4): 49—55
 Lynch J F, Newhall A E, Sperry B *et al*, 2003. Spatial and Temporal Variations in Acoustic Propagation Characteristics at the New England Shelfbreak Front. Journal of Oceanic Engineering, 28(01): 129—150
 Park S, Chu P C, 2008. Thermal fronts and cross-frontal heat flux in the southern Huanghai Sea and the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica, 27(05): 1—20
 Rutenko A N, 2006. Effect Produced on Sound Propagation by an Internal Temperature Front Moving over the Shelf. Acoustical Physics, 52(05): 710—715
 Wang D X, Liu Y, Qi Y Q *et al*, 2001. Seasonal Variability of Thermal Fronts in the Northern South China Sea from Satellite Data. Geophysical Research Letters, 28(20): 3963—3966
 Wyrtki K, 1961. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959—1961. Physical oceanography of the Southeast Asia waters, 2: 1—195
 Yao J L, Belkin I, Chen J *et al*, 2012. Thermal fronts of the southern South China Sea from satellite and in situ data. International Journal of Remote Sensing, 33(23): 7458—7468

DISTRIBUTION AND SEASONAL VARIATIONS OF TEMPERATURE FRONT IN THE SOUTH CHINA SEA

ZHU Feng-Qin, XIE Ling-Ling, CHENG Yin-He

*(Guangdong Province Key Laboratory for Coastal Ocean Variation and Disaster Prediction Technologies,
Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)*

Abstract Distribution and seasonal variation of temperature front in the upper layer of the South China Sea are analyzed based on the SODA data from 1958 to 2007. Results indicate that due to the impacts of monsoon, solar radiation, and other factors, temperature fronts varied strongly and seasonally in complicated structures. In winter, a temperature front occurs largely along continental shelf in the northern South China Sea from the Taiwan Strait to the Beibu (Tonkin) Gulf, being quite clear. In spring, it distributes more widely, mainly in the northern South China Sea, Beibu Gulf, and the eastern coast of Vietnam. In summer, temperature front distributes widely and occur frequently, especially in the eastern coast of Vietnam. In autumn, temperature front exists in a larger area in the western and central South China Sea.

Key words temperature front; South China Sea; seasonal variation; distribution