

文章编号: 1007-4619(2005)04-0452-07

冬季浙闽沿岸水分布的短期变动 与风的关系初探

张彩云^{1,2}, 商少凌¹, 陈德文², 商少平^{1,2}

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 海洋学系, 福建 厦门 361005)

摘要: 利用 1999年 7月至 2003年 5月期间的遥感数据,包括 AVHRR海表层温度、QuikSCAT风场和风应力数据,在分析 4年内月平均遥感温度场和风场特征与历年现场观测所获得的认识一致的基础上,选取 2002年 002-008天这一连续晴空时段,尝试建立简单的沿岸冷水影响面积表征方法,初步探讨了冬季台湾海峡浙闽沿岸水分布的短期变动与风应力之间的关系。结果表明,风是决定冬季台湾海峡海表层温度逐日变动的关键因素,日平均 SST与风应力的相关系数 R^2 达到 0.90。采用温度法 ($SST - 17$) 和温度空间距平法 (-1) 表征的浙闽沿岸水影响面积的变化趋势基本一致,而且影响面积的逐日变动与风应力显著相关,二者的相关系数 R^2 分别达到 0.90和 0.91。

关键词: 浙闽沿岸水;风;QuikSCAT;AVHRR;台湾海峡

中图分类号: TP71/TP79 **文献标识码:** A

1 引言

台湾海峡位于东海和南海之间,海峡呈东北-西南走向,属于亚热带季风气候区。每年 10月至次年 4月盛行东北季风,6—8月盛行西南季风,5月和 9月是转风期。受季风的影响,加上独特的自然地形条件,台湾海峡素以流况、水系的复杂而备受关注。12月至次年 2月是东北季风最强的季节,频率达 80%—90%,平均风速大于 $10\text{m/s}^{[1]}$ 。由欧江、闽江和九龙江等入海径流与沿岸海水混合形成的富含营养盐、低温、低盐的浙闽沿岸水,受到强劲东北季风的驱使,沿海峡西岸向南流动或侵入海峡东侧,对海峡的环流结构、水团组成、海洋生产力产生重要的影响。

然而关于浙闽沿岸水之动态,尚存有争议。伍伯瑜^[2]认为浙闽沿岸水在冬季虽受东北季风的影响南下,但由于这一水系径流量不大,因此势力较弱,仅影响到平潭岛一带;也有意见认为浙闽沿岸流速随着东北季风的加强而增大,冬半年沿岸南下

可达泉州附近^[3],与福建海洋所^[1]的看法大体一致,即东北风最强的月份浙闽沿岸水可伸展到 $24^{\circ}30'N$;但更多的学者认为浙闽沿岸水向南可影响到东山至南澳岛附近海域^[4,5]。王胄和陈庆生^[6]不仅认为浙闽沿岸冷水可入侵台湾海峡东侧,同时也指出冷水入侵造成的水文分布状态可能会在 1—2月间出现多次比较强烈的波动情形,这些过程是间歇性的,与东北季风的风应力大小有关。翁学传等^[7]曾在分析台湾海峡春、夏季水团时指出各年 5月份的浙闽沿岸水水团分布范围的变化与风情有较好的对应关系。我们认为这些看法皆有其依据,但这些依据来源于不同时间段的观察,故而产生差异;浙闽沿岸水的势力范围应存在着某种受东北季风强度左右的时间变动规律,很有必要对此开展研究,以提高对季风控制的台湾海峡水文场演变的认识。因时间连续的现场观测数据难以获得,作为一种尝试,我们拟借助遥感表层海温 (SST) 和风场、风应力资料,在假设沿岸冷水可代表浙闽沿岸水的前提下,探索浙闽沿岸水影响面积的表征方法,观察其短期变动及其与风场、风应力之间的关系。

收稿日期: 2003-09-02; 修订日期: 2004-07-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40331004)、国家自然科学基金 (49906008) 和跨世纪人才基金共同资助。

作者简介: 张彩云 (1972—), 女, 讲师。1997年获厦门大学海洋系物理海洋学硕士学位, 现为厦门大学环境科学中心在职博士, 主要从事海洋环境动力学与海洋遥感研究。Email: cyzhang@xmu.edu.cn

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

1999年由 NASA 发射的 QuikSCAT 卫星所载 SeaWiFS 散射计具有测量海面风场(风速及风向)的能力,每天覆盖全球海洋 90%以上,水平分辨率 25km。本文采用的风场资料取自于美国 NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory, <http://podaac.jpl.nasa.gov>)分发的经过处理的 QuikSCAT 海面风场和风应力全球日平均三级产品,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$;时间跨度从 1999 年 7 月至 2003 年 5 月。NASA JPL 同时发布 NOAA AVHRR 海表温度产品,主要有两种,一种是多通道 SST 算法(MCSST),空间分辨率为 18km 的全球周平均资料;另一种是采用 Pathfinder 算法(PFSST)反演的温度产品,该反演算法主要是在非线性海表温度算法(NLSST)基础上修正而成^[8],该产品包括空间分辨率分别约为 9km、18km 和 54km 的全球日平均、8 天平均和月平均资料。本文采用空间分辨率为 9km 的 AVHRR PFSST 全球日平均和月平均数据。

2.2 数据处理

下载取得的数据,皆已是三级产品,但必须经过区域切割、成图和平均计算。切割的研究区域范围为 $116^{\circ}\text{E}—122^{\circ}\text{E}$, $23^{\circ}\text{N}—27^{\circ}\text{N}$ 。

QuikSCAT 风场和风应力日平均数据,采用 NASA 分发的风场处理程序(<ftp://podaac.jpl.nasa.gov>)并结合 Matlab 软件编程进行研究区域的切割、成图与平均计算。平均计算包括两个步骤,首先由日平均值计算月平均值,而后计算多年平均的月平

均值。

AVHRR PFSST 全球日平均和月平均数据,采用 NASA 分发的 SeaDAS 遥感数据处理软件(<http://seadas.gsfc.nasa.gov>)进行切割并作图。多年平均的月平均值直接由下载的月平均数据计算。

由于受云、雨等因素的影响,台湾海峡 AVHRR SST 日平均遥感图像质量较差。1999—2003 年冬季,仅发现 2002 年 002—008 天唯一一组(其中 007 天因云的影响无 SST 数据)具有较好的连续的 SST 日序列数据。因此本文主要选取该组数据来探讨浙闽沿岸水(通过 SST 表征)影响面积和风应力之间的短期变动关系。

2.3 浙闽沿岸水影响面积的表征方法

历年来的观测表明浙闽沿岸水具有低温低盐的基本特征,自南海东北部北上的暖水与之对峙形成鲜明的温度锋。因此即便缺乏盐度数据,仅利用温度锋区分浙闽沿岸水与暖水,应是合理可行的,但前提是需要假设遥感揭示的沿岸冷水可以代表浙闽沿岸水。锋面的计算相对烦琐,而浙闽沿岸水影响面积绝对值的精确性在此并不重要,我们需要度量的是其相对的变化,故尝试采用两种简单的方法来表征。

2.3.1 温度法

观察本研究选定的 2002 年 002—008 天 SST 数据集绘成的日均 SST 等温线图,等温线最密集处即锋面所在,锋面上的低温界为 17 等温线(图 1),可以粗略地将低温一侧视为浙闽沿岸水。梁红星和李虹^[4]也曾通过水团的模糊聚类分析给出秋、冬和春季浙闽沿岸水聚类中心的水温分别为 20.18, 16.85 和 21.11。据此,采用 SST 17 作为浙闽沿岸水的判据,图中显示为深灰色部分。

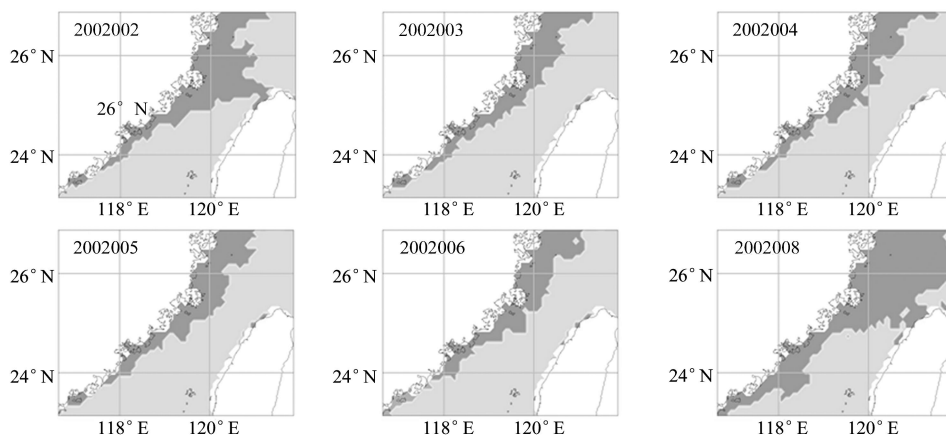


图 1 采用温度法表征的浙闽沿岸水(深灰色表示)示意图

Fig 1 Schematic images of Zhe-Min coastal water (shown as dark grey) using SST method

2.3.2 温度空间距平法

温度空间距平图可以突显冷水和暖水的相对格局,而且可以消除局部海气相互作用导致整个海域温度变动的的影响。观察该段期间日均 SST 空间距平等值线图,等值线最密集处的负距平界为 -1 (图 2),与上述 17 等温线的位置实际上非常相似。所有 SST 空间距平 -1 的像素点从而被判别为浙闽沿岸水,图中同样显示为深灰色部分。

在我们所选取的遥感 SST 图像中,仍可发现部分像素点为云覆盖没有数据,进一步的观察表明这些像素点大部分位于大陆沿岸和浙闽沿岸水界定线

之内,因此计算中将这这些像素点也视为浙闽沿岸水。将研究海域总像素点数记为 N_t , 温度法中 SST -1 或距平法中 -1 的像素点数记为 N_c , 无数据像素点记为 N_{non} , 以 P 表示浙闽沿岸水在研究海域内的影响面积, 计算公式如下:

$$P = (N_c + N_{non}) / N_t$$

需要指出的是, N_c 与 N_{non} 中含有一定的误差值, 从图 1、图 2 中显见台湾岛海岸部分线段皆符合以上冷水判据, 但其占海域总像素点的比例小于 1% , 并且在研究时段内没有变化, 对于分析时间变动影响很小, 可忽略之。

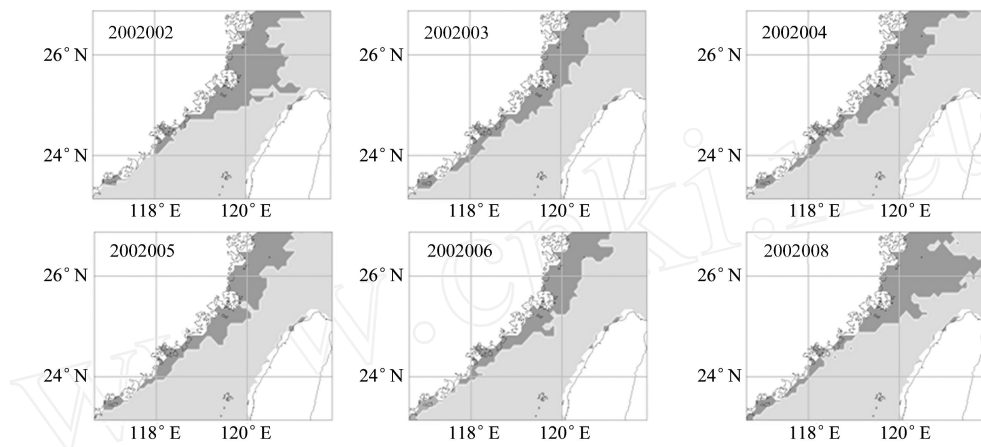


图 2 采用温度空间距平法表征的浙闽沿岸水(深灰色表示)示意图

Fig 2 Schematic images of Zhe-Min coastal water (shown as dark grey) using SST space anomaly method

3 结果与讨论

3.1 台湾海峡冬季 SST 与风场的时空特征

图 3 所示为 1999—2003 年 10 月至次年 3 月 4 年平均的遥感 SST 和风场。从 10 月份起, 台湾海峡基本上受东北季风的控制, 风速逐渐增强, 以 11、12 月最强, 而后开始减弱, 3 月份最低。由于受到两岸丘陵和山脉的影响, 季风“狭管”效应显著, 海峡内中部风速最强, 平均约 $11\text{—}12\text{m/s}$, 海峡两端风速次之。SST 同样存在明显的月变化, 10 月份沿岸冷水的影响很弱, 福建中北部沿岸温度不低於 20 , 11 月份起随着东北季风的增强, 冷水在台湾海峡的影响也逐渐增强, 从图 3 清晰可见冷水舌贴着大陆沿岸向南伸展的迹象; 冷暖水交界的锋面逐步向南推动且逐渐增强, 以 2 月份冷水面积为最大; 3 月份开始又逐渐减弱。这些特征, 与历年来主要依据现场观测获得的认识一致^[1,5,9], 验证了低分辨率的遥感 SST 和风场在本研究海域的适用性, 完全可以利用

之进行短期变动的研究。

2002 年 002—008 天的日平均 SST 与风场如图 4。该段时间内的日平均 SST 与风应力的相关关系示于图 5, 取 95% 的置信度 (以下线性回归皆取同样置信度), 相关系数 R^2 达到 0.90 , 二者之间的相关性相当显著。从图 4 可知, 002 天风速较大且风向稳定, 003—006 天风速较小而且风向也不大稳定, 007, 008 天风速最大, 009 天风速又明显降低, 而海峡内 SST 的分布状况与风应力的变动又有着密切的联系。003—006 天连续 4 天 SST 日平均值变化比较小, 都在 18 左右, 而 008 天日平均 SST 为 15.9 , 与 006 天相比降低了约 2 。尽管 007 天无 SST 数据, 但从其风速变大的趋势看, 推断降温应是从 007 天开始。显然在逐日变化的时间尺度上, 风应力是决定水温变动的关键因素, 同时也表明了温度场对风场响应的快速程度。007—008 天发生的强东北风事件, 首先会导致海区巨大的潜热散失, 使得海区平均 SST 显著下降, 与 Luis & Kawamura^[10] 在南印度岬角的 Mannar 湾利用 NSCAT 和 AVHRR 数据观察到的冬

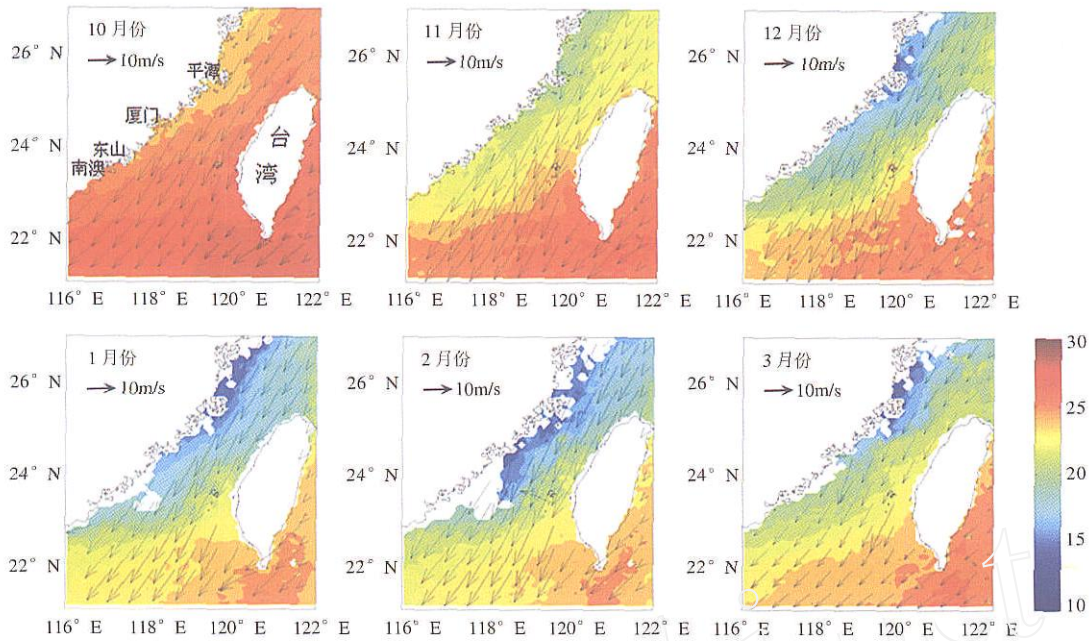


图 3 1999—2003年 10月至次年 3月 4年平均的台湾海峡遥感 SST和风场图

Fig 3 Four-year(1999—2003) monthly average images of AVHRR SST and QuikSCATW ind Field from October to March in the Taiwan Strait

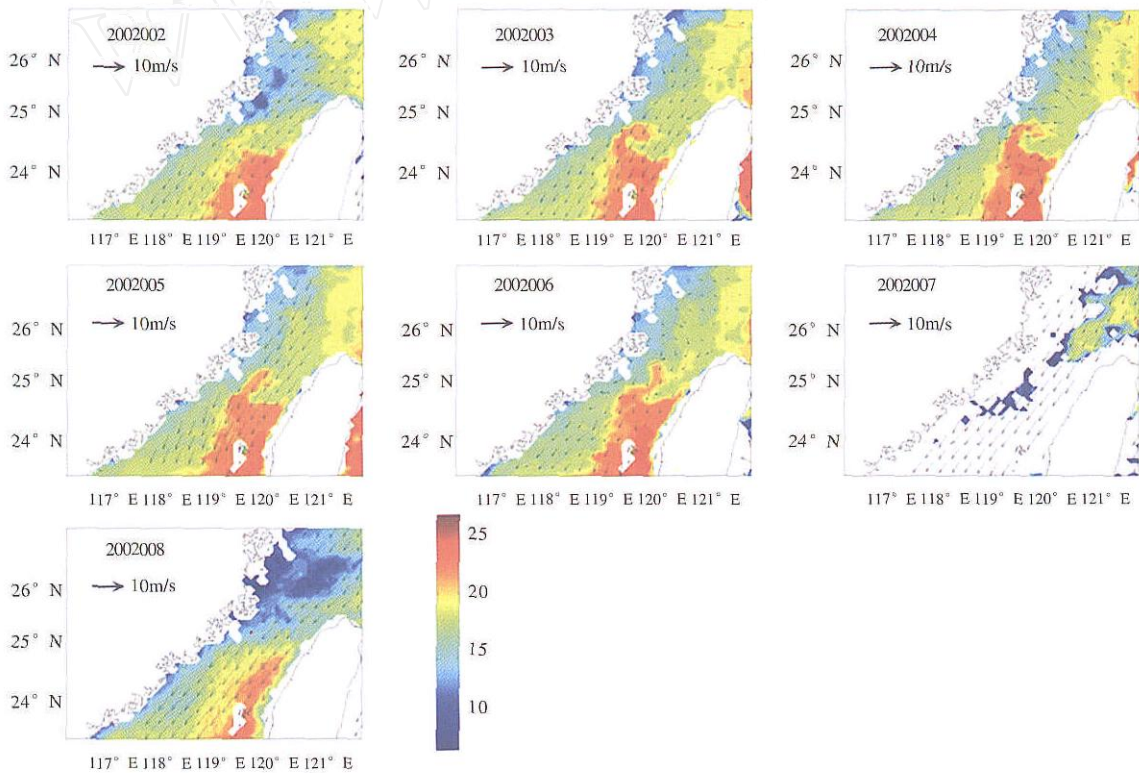


图 4 2002年 002—008天台湾海峡遥感 SST和风场图

Fig 4 Images of AVHRR SST and QuikSCATW ind Fields from days 2 to 8 in 2002 in the Taiwan Strait

季表层降温现象有类似之处。其次,强东北风事件也可通过驱使浙闽沿岸水南下或东侵增加冷水的影

响面积而导致海区平均 SST下降的结果,这是以下将讨论、也是本文关心的主要问题。

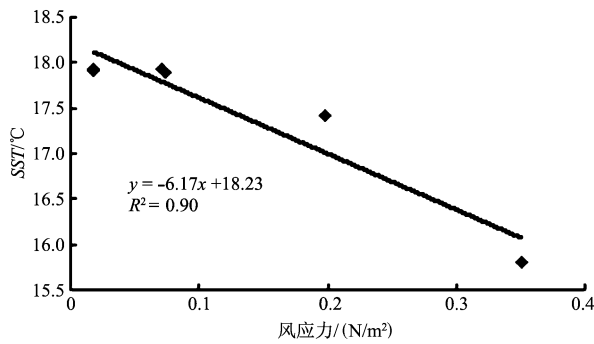


图 5 2002年 002—008天日平均 SST与风应力的关系图

Fig 5 Correlation between daily SST and wind stress from days 2 to 8 in 2002

3.2 台湾海峡冬季浙闽沿岸水影响面积的变动与风应力的关系

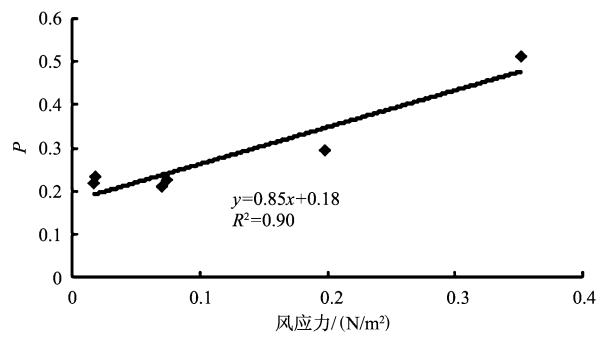
3.2.1 浙闽沿岸水影响面积判别方法

采用两种表征方法判别的浙闽沿岸水影响面积(图 1和图 2)的变化趋势基本上一致。在风速较大的 002天和 008天所对应的浙闽沿岸水面积较大,但 008天北部部分海区因云影响,可能造成高估的结果。

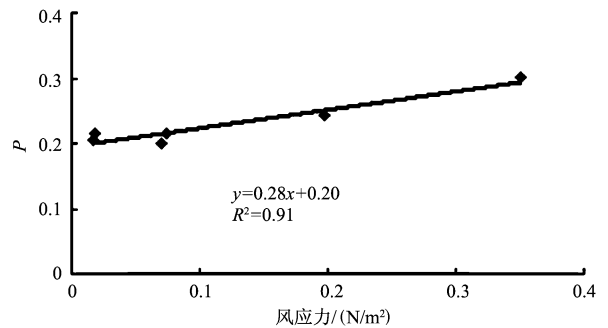
图 6表示利用温度法 (a)和温度空间距平法 (b)求得的浙闽沿岸水影响面积与风应力的相关关系,相关系数 R^2 分别为 0.90和 0.91,呈现显著相关。尽管二者所判别的浙闽沿岸水影响面积大小有一定的差异,然而两种方法获得的相关系数却基本上一致。从科学的、严格的角度看,两种方法都仅仅是近似的、简化的方法,只有计算锋面才能真正衡量冷水和暖水相对格局的改变。本文采用的方法,很显然只能在气温和海面温度变动不大、时间尺度在几天之内的条件下适用,也就是说研究时段内锋面温度没有显著变化的情况下。

3.2.2 浙闽沿岸水影响面积的变动与风应力的关系

图 6的结果,给出了浙闽沿岸水影响面积的逐日变动与风应力之间显著相关的一个证据,而浙闽沿岸水的推进或退缩与海峡暖水的消长是联系在一起的。冬季台湾海峡的表层水团主要由浙闽沿岸水和海峡暖流水两部分组成,其中海峡暖流水不仅包括由海峡南部进入峡区的南海水和黑潮水,还包括海峡东北部的高温高盐水,这部分海水很可能是源自台湾东侧北上的黑潮水,在台湾北部地形和东北季风的影响下,部分海水进入该海域并与北上的海峡暖水合为一体^[6,11],另外还包括部分海峡内冷水



(a)



(b)

图 6 2002年 002—008天浙闽沿岸冷水影响面积与风应力的关系图

(a)温度法; (b)空间距平法

Fig 6 Correlation between the area of Zhe-Min coastal cold water and wind Stress from days 2 to 8 in 2002

(a) SST method; (b) SST space anomaly method

和暖水的混合水。强劲的东北季风可以起到阻止暖水北上和促使浙闽沿岸冷水南下或东侵的作用,从而使得浙闽沿岸水的影响区域变大,如 002天、008天。当风力减弱时(风速变小或风向不太稳定),海峡暖水舌可沿澎湖以北之海沟向西北伸展,同时冷暖水对峙的锋面向北方向移动,冷水面积变小,如 003天、009天所示。王霄和陈庆生^[6]曾提出,浙闽沿岸水的推进可能是间歇性的,与东北季风之风应力大小有关,本文得到的结果与其观点一致。

东北季风影响浙闽沿岸水,人所共知,本文所做的简单工作,希望就东北季风如何在逐日变化的时间尺度上影响浙闽沿岸水这个问题,约略有些量的概念。当然海流状况的变动是一个复杂的问题,本文仅只通过基于 SST的一个浙闽沿岸水影响区域的简单定义,计算其与风应力的相关关系,没有考虑其他因素如地形的影响,且缺乏重要的盐度指标,其不足之处也是显而易见的。有待开展的锋面、热通量、模式的计算工作将有助于本项研究的深入。

4 结 论

本文聚焦东北季风强度对浙闽沿岸水短期变动的影响问题,通过对浙闽沿岸水势力所及的台湾海峡及其周边海域的遥感 SST 和风场的关系分析,得出以下结论:

(1)根据 1999—2003 年 4 年平均的秋、冬季(10 年至次年 3 月)遥感 SST 场和风场的逐月变动结果,可以发现 SST 与风场的变动联系紧密。自 10 月始东北季风逐渐增强,12 月后开始减弱直至次年 3 月, SST 场相应地出现显著的月变化,11 月沿岸冷水舌已向南伸展,次年 2 月冷水影响面积最大。该特征与历年来主要依据现场观测获得的认识一致,验证了低分辨率的遥感 SST 和风场在本研究海域的适用性。

(2)建立了温度法和温度空间距平法两种可在一定程度上表征浙闽沿岸冷水影响面积的界定方法,结果不仅表明二者判别的冷水影响面积的逐日变动与风应力具有高度的相关关系,而且变化趋势也基本一致。

(3)根据 2002 年 002—008 天遥感 SST 场和风场的逐日变动结果,发现在逐日变化的短时间尺度上,风应力是影响海表温度和浙闽沿岸水影响面积短期变动的关键因素。日平均 SST 与风应力的相关系数 R^2 达到 0.90,利用温度法和温度空间距平法求得的浙闽沿岸水影响面积与风应力的相关系数 R^2 分别为 0.90 和 0.91。该结果所说明的问题与王胄和陈庆生^[6]依据现场观测提出的观点一致,即浙闽沿岸水的推进呈现与东北季风之风应力大小有关的间歇性特征。诚然本研究仅仅是一项初步的工作,基于目前能获得的唯一一组可进行日变动研究的 SST 和风场数据,未来无疑需要努力寻求更充足的证据及更有力的分析手段。

致谢 本文使用的遥感资料下载于 NASA Physical Oceanography Distributed Active Archive Center at the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 谨此致谢!

参 考 文 献 (References)

[1] Fujian Institute of Oceanology. A Comprehensive Oceanography Survey of the Central and Northern Part of the Taiwan Strait [R]. Beijing: Science Press, 1988. [福建海洋研究所. 台湾海峡中北部海洋综合调查研究报告 [R]. 北京: 科学出版社, 1988.]

[2] Wu B Y. Some Problems on Circulation Study in Taiwan Strait [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1982, 1(1): 1—7. [伍伯瑜. 台湾海峡环流研究中的若干问题 [J]. 台湾海峡, 1982, 1(1): 1—7.]

[3] Second Laboratory of the Institute of Marine Scientific and Technological Data and Information National Bureau of Oceanography. The Hydrographic Synopsis in Taiwan Strait and its Adjacent Areas [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1982, 1(1): 8—10. [国家海洋局海洋科技情报研究所第二研究室. 台湾海峡及邻近海区的水文概况 [J]. 台湾海峡, 1982, 1(1): 8—10.]

[4] Liang H X, Li H. A Fuzzy Classification in Determining Water Masses of the Southern Taiwan Strait [C]. Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground Upwelling Ecosystem Study [C]. Beijing: Science Press, 1991. [梁红星, 李虹. 台湾南部水团的模糊聚类划分 [A]. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1991.]

[5] Xiao H, Cai S H. Distribution Characters of Sea Temperature and Salinity in Western Taiwan Strait [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1988, 7(3): 227—234. [肖晖, 蔡淑惠. 台湾海峡西部海域温、盐度分布特征 [J]. 台湾海峡, 1988, 7(3): 227—234.]

[6] Wang Z, Chen Q S. On Cold Water Intrusion in the Eastern Taiwan Strait During the Cold Season [J]. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 1989, 22: 43—67. [王胄, 陈庆生. 台湾海峡东侧冷季之浙闽沿岸水入侵事件 [J]. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 1989, 22: 43—67.]

[7] Weng X C, Zhang Q L, Yan T Z, et al. Analysis of Water Masses of the Central and Northern Part of the Taiwan Strait in Summer and Spring [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23(3): 235—243. [翁学传, 张启龙, 颜廷壮等. 台湾海峡中、北部海域春、夏季水团分析 [J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(3): 235—243.]

[8] Kilpatrick K A, Podesta G P, Evans R. Overview of the NOAA/NASA Advanced Very High Resolution Radiometer Pathfinder Algorithm for Sea Surface Temperature and Associated Matchup Database [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, (C5): 9179—9197.

[9] Huang R X. Structure of Temperature and Salinity in the Southern Taiwan Strait and the Upwelling in Summer [A]. Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground Upwelling Ecosystem Study [C]. Beijing: Science Press, 1991. [黄荣祥. 台湾海峡南部的温、盐结构与夏季上升流 [A]. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1991.]

[10] Luis A J, Kawanura H. Wintertime Wind Forcing and Sea Surface Cooling Near the South India Tip Observed Using NSCAT and AVHRR [J]. *Remote Sens Environ*, 2000, 73: 55—64.

[11] Xiao H, Guo X G, Wu R S. Summarization of Studies on Hydrographic Characteristics in Taiwan Strait [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2002, 21(1): 126—138. [肖晖, 郭小钢, 吴日升. 台湾海峡水文特征研究概述 [J]. 台湾海峡, 2002, 21(1): 126—138.]

Short-term Variability of the Distribution of Zhe-M in Coastal Water and Wind Forcing during Winter Monsoon in the Taiwan Strait

ZHANG Cai-yun^{1,2}, SHANG Shao-ling¹, CHEN De-wen², SHANG Shao-ping^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science (Xiamen University), Xiamen 361005, China;

2. Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper has a primary look at the daily variation of coastal water distribution in relation to wintertime wind forcing in the Taiwan Strait. QuikSCAT wind data and AVHRR Sea Surface Temperature (SST) data during the period from July, 1999 to May, 2003 were used in this study. Monthly mean wind field and SST during this period were analyzed first. It was shown that this remote sensing dataset revealed similar temporal and spatial features of wind field and SST as people reported based on *in situ* investigation. Daily SST and wind forcing data during Jan. 2nd to the 8th, 2002 were thus further used to study the short-term temporal pattern of Zhe-M in Coastal Water and its relationship with wind forcing. Two simplified methods were attempted to estimate the area of Zhe-M in Coastal Water distributed. One used $SST - 17$ and the other used $SST - 1$ as the criteria. It was demonstrated that wind was the key factor controlling the daily variation of SST in the Taiwan Strait. The area of Zhe-M in Coastal Water was highly correlated with wind stress, with its correlation coefficient (R^2) reaching 0.90.

Key words: Zhe-M in Coastal water; wind; QuikSCAT; AVHRR; Taiwan Strait