

# 东北季风与南海海洋环流的相互作用\*

刘秦玉 李 薇 徐启春

(青岛海洋大学物理海洋研究所, 物理海洋实验室, 青岛 266003)

**摘要** 针对冬、春季南海海区风场, 表层海流、海温场的季节变化, 选用了 $2^{1/2}$ 层海洋模式和简单一层大气边界层模式, 研究了冬、春季东北风作用下南海上层海洋环流的基本形态及其对 SST 的影响, 估算了这种影响对海面风场的反馈效应。研究表明, 冬、春季东北季风与南海环流的相互作用对吕宋岛西部海域的气旋式冷涡的形成和维持有利。冬季(1月)强东北风作用使南海上层为一气旋式环流, 上层环流对季风的反馈作用可使南海西北部东北风减弱, 东南部东北风略加强, 由北向南的越赤道流略强; 春季(4月)弱东北风作用使南海南部、北部上层各有一气旋式环流, 两个气旋式环流之间有一个反气旋式的环流, 上层环流对季风的反馈作用使东北季风风速更弱, 有利于越赤道流的转向和南海夏季风的形成。

**关键词** 东北季风 南海环流 相互作用 反馈 越赤道流

已有的研究表明, 南海的海气相互作用包含多时间、空间尺度的物理过程, 从季节、年际变化的角度出发, 南海已成为亚洲季风区热源(汇)之一。例如, 何有海等(1992)的研究指出, 春季, 南海南部( $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ N)0—100m海水的月平均温度从 $23^{\circ}\text{C}$ (3—4月)迅速增大到 $27^{\circ}\text{C}$ (5—6月), 南海的 SST 增温对大气的局地影响可能会对南海夏季风的形成有利。尽管这种季节变换与太阳辐射和整个大气环流的季节变化有关, 但是 SST 季节变化的机制及对南海季风的影响尚不清楚。特别是在南海这一特殊的深水海盆局地发生的月以上时间尺度的海气相互作用, 在季风的季节性变化, 尤其是夏季风的建立中扮演什么角色没有定量的估计。本文针对南海上层海洋环流在冬、春季的特点, 分析了南海海洋环流对 SST 的影响及对海面风可能产生的月以上时间尺度的反馈作用。在此基础上, 利用斜压 $2^{1/2}$ 层海洋模式定量地估算了由季风引起的上层海洋环流及其对 SST 的影响, 进而利用大气边界层模式, 对南海风生环流可能对季风所产生的反作用做了初步的估计。

## 1 冬、春季南海海面风场、表层海洋环流和 SST 的水平分布特征

### 1.1 冬季

冬季南海地区完全受东北季风控制, 季风的风速较大, 水平分布较均匀。在这种风场作用下, 整个南海表层流场基本上是一个大的气旋式环流。根据章凡等(1994)的诊断计算(图 1a), 在 12 月—2 月期间, 南海中、北部海区( $12^{\circ}$ N 以北)基本上为一气旋式环流。而在吕宋岛西北部和  $14^{\circ}$ N,  $117^{\circ}$ E 附近, 分别有气旋式涡旋, 在西沙—中沙群岛海区存在着一

\*国家自然科学基金资助项目, 49636230号, 49476269号。刘秦玉, 女, 出生于1946年3月, 教授。

收稿日期: 1996年2月29日, 接受日期: 1997年1月29日。

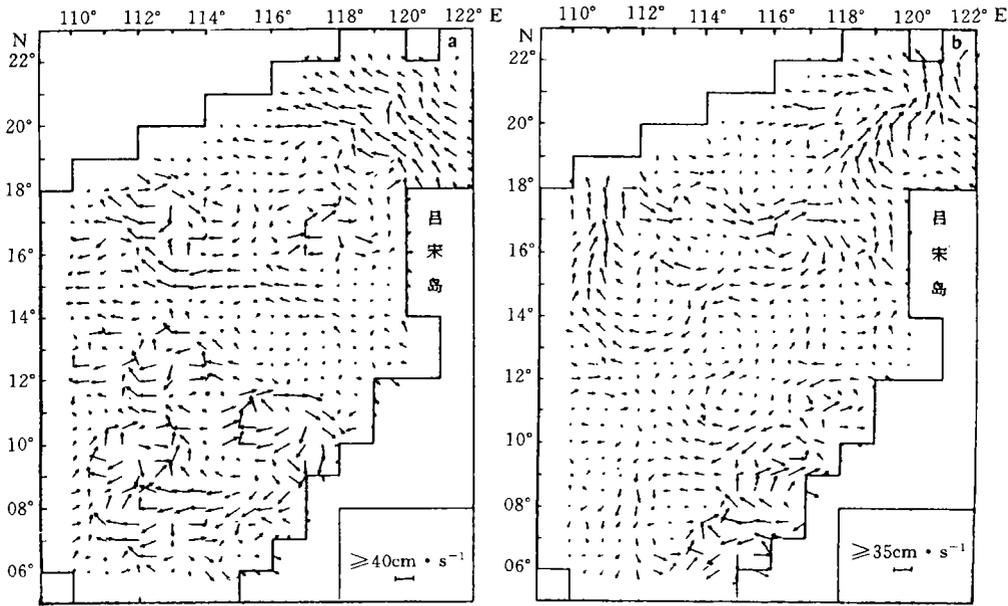


图1 南海深水区表层流场图(章凡等, 1994)

Fig.1 Current field over the deep water zone of the South China Sea (SCS) (from Zhang Fan et al., 1994)

a. 1月; b. 4月.

个范围大的反气旋涡旋。在南海南部海区则以反气旋环流为主,二个反气旋环流中心分别位于礼乐滩和 9.5°N, 115°E 附近。Millersville 等(1995)利用 TOPEX / poseidon 卫星资料,分析了 1993 年 12 月 29 日—1994 年 1 月 5 日的 SST 场,也发现了中心位于 17°N, 117.5°E 的一个冷涡。尽管目前对这些涡旋持续时间还不太清楚,但这种多涡的表层环流会引起海洋上混合层中的卷入和卷出过程,从而导致 SST 的变异。另外,1 月份南海 SST 的水平梯度较大,月平均等 SST 线自东北向西南倾斜(图 2a)。从月以上的时间尺度来看,冬季整个南海海盆表层气旋式环流对上层海洋温度场的平流输送效应,在南海冬季月平均等 SST 线的自东北向西南倾斜分布中起一定作用。

### 1.2 春季

春季(3—5月)处于季风转换季节,尽管南海海面月平均风场仍然是东北风,但风速比冬季减小 50% 以上,且风向的分布不均匀,风应力具有较明显的涡旋性,在南海北部呈现反气旋式涡度的特征,南部呈现气旋式涡度特征。在赤道附近,冬季由北向南的越赤道流几乎消失,而由南向北的越赤道流即将形成。春季(3—5月)海面风的月变化非常明显,平均海面风为偏东风。根据此平均值计算的春季表层环流(章凡等,1994)(图 1b)。除吕宋海峡处有一反气旋式的流套之外,在 17°N 以北南海北部有一气旋式环流,南海中部(12°—17°N)基本为反气旋环流所控制,12°N 以南的南部海区为多个涡旋,其中以 6°—9°N, 112°E 以东、南沙海槽西侧的气旋式环流和中心在 11°N, 115°E 附近的反气旋环流最为明显(图 1b)。

春季 SST 场的水平分布与冬季相比有较大变化(图 2b, c, d)。SST 大于 27.5°C 的水域从 3 月起迅速向北推进,4 月整个海区除 18°N 以北外几乎全部为大于 27.5°C 的海域,南海

“暖池”(SST 大于  $28^{\circ}\text{C}$  的水域)在 4 月份出现,且深水区的暖核中心位于  $9^{\circ}\text{N}$ ,  $114^{\circ}\text{E}$ ,这可能与中心位于  $11^{\circ}\text{N}$ ,  $115^{\circ}\text{E}$  的反气旋环流有关。5 月,整个南海 SST 超过  $28^{\circ}\text{C}$ ,其中暖核仍在反气旋环流中心附近。春季的这种海面风场、表层流场及 SST 分布和变化特性,进一

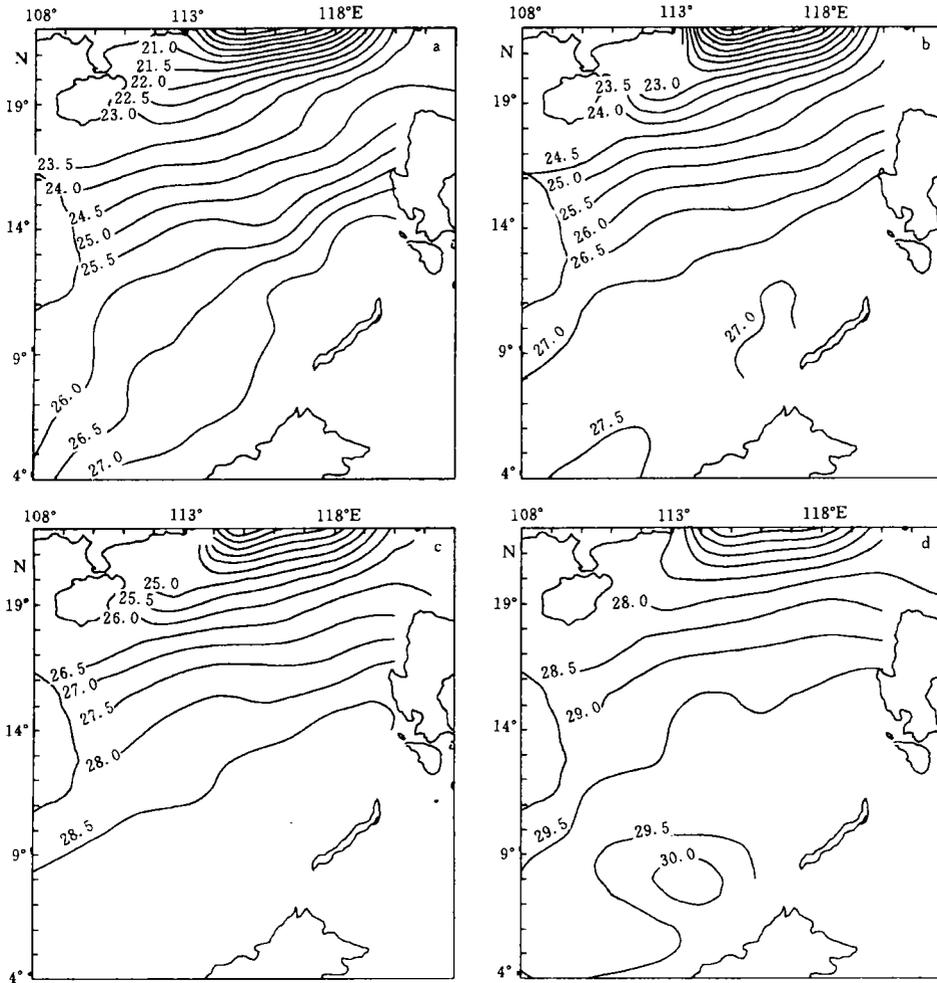


图2 南海SST( $^{\circ}\text{C}$ )的水平分布

Fig.2 SST distribution of SCS ( $^{\circ}\text{C}$ )

a. 1月; b. 3月; c. 4月; d. 5月。

步表明了上层海洋涡旋或环流的存在和对 SST 所产生的影响,同时也反映了春季海气相互作用的多变性。

综上所述,冬、春季南海局地的海气相互作用,从月以上时间尺度来看有以下理想的过程:季风引起多涡性的环流,其中反气旋环流造成的下潜和气旋式环流造成的上涌以及跨越等 SST 线的平流输送来影响 SST 的水平分布。SST 水平分布的变异和新的冷、暖中心的形成,都会造成月以上时间尺度大气低层风场的变异,从而影响由于大尺度海、陆冷、热源季节变化形成的东亚季风,并使季风在南海地区的变异具有一定的特点,例如南海夏

季风的出现要早于印度夏季风等。

## 2 数学模式及定性分析

为了准确地刻划上述南海东北季风与海洋环流相互作用的主要特征,正确估算其在冬、春季季风的时空变化中所起的作用,本文在分析已有的各类研究热带海气相互作用模式的基础上,采用了 Lindzen 等(1987)提出的海面风场模式和 McCreary 等(1992, 1994)提出的斜压  $2^{1/2}$  层海洋环流模式来初步刻划季风与南海环流的这种局地海气相互作用。

### 2.1 大气边界层模式及初步分析

Lindzen 等(1987)提出了一个热带大气边界层模式,利用此模式可以得到由 SST 距平场直接强迫产生的边界层风场的距平场。此模式的计算结果与 FGGE 观测资料分析结果相对比,在低层风距平场的量级和分布形势上基本一致。这种一致是建立在月以上时间尺度上的。Lindzen 等(1987)所研究的范围是热带太平洋( $100^{\circ}\text{E}-80^{\circ}\text{W}$ ,  $30^{\circ}\text{S}-30^{\circ}\text{N}$ ),其中包括了南海的绝大部分海区。于慎余等(1994)也指出,南海 SST 异常与经向风异常有很好的对应关系,年以上低频振荡的周期相同。本文针对南海局地海气相互作用特点,将因大气动力强迫造成的海温异常场作为海温距平场,再利用 Lindzen-Nigam 模式(LN 模式)计算相应的大气边界层异常风场。

此模式可表示为(Lindzen et al., 1987):

$$-fv' = R \frac{\partial T'_s}{\partial x} - \varepsilon u' \quad (1)$$

$$f'u' = R \frac{\partial T'_s}{\partial y} - \varepsilon v' \quad (2)$$

其中  $R = \frac{nH_0}{2} g \left(1 - \frac{2r}{3}\right)$ ,  $n = 1/288(^{\circ})$ ,  $H_0 = 3000\text{m}$ ,  $g = 9.8\text{m/s}^2$ ,  $r = 0.3$ ;  $u'$ ,  $v'$  是大气低频异常风场;  $T'_s$  为 SST 异常场;  $\varepsilon = (2.5\text{d})^{-1}$ 。

为了研究赤道附近海温异常会对越赤道流的变异产生什么影响,在此讨论方程(1)和(2)的极限情况。

$$u' = \frac{R}{\varepsilon^2 + f^2} \left( \varepsilon \frac{\partial T'_s}{\partial x} + f \frac{\partial T'_s}{\partial y} \right) \quad (3)$$

根据方程(1)、(2)可得:

$$v' = \frac{R}{\varepsilon^2 + f^2} \left( \varepsilon \frac{\partial T'_s}{\partial y} - f \frac{\partial T'_s}{\partial x} \right) \quad (4)$$

在赤道附近,  $f \rightarrow 0$  时, 
$$u' \rightarrow \frac{R}{\varepsilon} \frac{\partial T'_s}{\partial x}; v' \rightarrow \frac{R}{\varepsilon} \frac{\partial T'_s}{\partial y} \quad (5)$$

(5)式意味着,在赤道附近,根据海温异常场的南北水平梯度可以确定由此产生的越赤道气流异常场。若模式中参数的选取为

$$R \approx 41.5\text{m}^2 / (\text{s}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}); \varepsilon = (2.5\text{d})^{-1}$$

赤道附近海温异常的经向梯度能达到每个纬距相差  $0.02^{\circ}\text{C}$ , 则越赤道流的变异  $v'$  约能达到  $1.6\text{m/s}$ 。

冬季, 南海为强东北风, 上层海水在南海南部有一定堆积。再考虑到太阳辐射等因素, 赤道附近一般来讲  $\partial T_s' / \partial Y < 0$ , 因此东北风与海洋环流的相互作用有利于北风的维持和加强。春季, 季风北分量减小, 以东风分量为主, 且有较明显的水平切变。在这种风作用下, 南海南部出现气旋式涡旋, 使上混合层变浅, 冷水上涌, 加上东风所造成的赤道上涌, 都会使赤道附近、南海南部的 SST 异常出现  $\partial T_s' / \partial Y > 0$ , 因此春季局地海气相互作用有利于越赤道流由自北向南转为自南向北。

## 2.2 斜压 $2^{1/2}$ 层海洋模式

McCreary 等 (1992) 提出了一个描述热带太平洋的  $2^{1/2}$  层海洋模式, 研究热带太平洋流系及其上、下层的能量交换。在此基础上, McCreary 等 (1994) 又利用此模式研究了副热带与赤道海洋环流的相互作用, 提出不仅有经向热带环流 (Tropical Cell), 而且还有经向副热带环流 (Subtropical Cell)。这二种经向环流包含着通过下潜 (上涌) 的层与层交换过程。因此这个海洋模式可以较准确地刻划南海上层海流及这种流动对南海局地海温的影响。

在本文中, 主要研究海洋对风强迫的响应, 只考虑因风强迫所造成的海温异常, 未计入热力方程中海气界面热通量项, 故对海洋模式进行修改。

模式上下两层流体的运动方程、连续方程和热量方程分别为:

上层

$$\begin{cases} (h_1 \bar{v}_1)_t + \nabla \cdot (\bar{v}_1 h_1 \bar{v}_1) + f \bar{k} \times h_1 \bar{v}_1 + h_1 \langle \nabla p_1 \rangle : \\ \quad = \bar{\tau} + \bar{\tau}_c + w_e \bar{v}_2 + w_d \bar{v}_1 - v_2 \nabla^2 (h_1 \bar{v}_1) - v_4 \nabla^4 (h_1 \bar{v}_1) \\ h_{1t} + \nabla \cdot (h_1 \bar{v}_1) = w_e + w_d - \kappa_4 \nabla^4 h_1 \\ T_{1t} + \bar{v}_1 \cdot \nabla T_1 = Q_c / h_1 - w_e (T_1 - T_2) / h_1 - \kappa_2 \nabla^2 T_1 \end{cases} \quad (6)$$

下层

$$\begin{cases} (h_2 \bar{v}_2)_t + \nabla \cdot (\bar{v}_2 h_2 \bar{v}_2) + f \bar{k} \times h_2 \bar{v}_2 + h_2 \langle \nabla p_2 \rangle : \\ \quad = -\bar{\tau}_c - w_e \bar{v}_2 - w_d \bar{v}_1 - v_2 \nabla^2 (h_2 \bar{v}_2) - v_4 \nabla^4 (h_2 \bar{v}_2) \\ h_{2t} + \nabla \cdot (h_2 \bar{v}_2) = -w_e - w_d - \kappa_4 \nabla^4 h_1 \\ T_{2t} + \bar{v}_2 \cdot \nabla T_2 = -Q_c / h_2 - w_d (T_1 - T_2) / h_2 + \kappa_2 \nabla^2 T_2 \end{cases} \quad (7)$$

其中  $\bar{v}_i$ ,  $h_i$  和  $T_i$  ( $i = 1, 2$ ) 分别是上下层的速度、厚度和温度;  $\bar{\tau}$  是海面风应力,  $\bar{\tau}_c$  是上、下层之间的内部应力,  $Q$  是通过海表面的热量输送, 在本文中取  $Q = 0$  (暂不考虑海面热通量),  $Q_c$  是上、下层之间交换的热通量,  $\bar{k}$  是垂直方向上的单位矢量。  $v_2$  和  $\kappa_2$  是动量和温度的 Laplacian 混合系数,  $v_4$  和  $\kappa_4$  是双调和的水平混合系数。  $\langle p_i \rangle$  是每层压强梯度力的平均值。垂直运动速度  $w_e$  ( $> 0$ ) 和  $w_d$  ( $< 0$ ) 分别表示对上层水的卷入和由上层水的卷出, 其具体表达式参见 McCreary (1992)。

## 3 冬、春季季风与南海环流的相互作用

### 3.1 海气相互作用的数值计算

为了定量地估算南海局地海气相互作用, 特别是对在冬、春季季风作用下, 南海风场、海温场演变过程中, 海洋环流的作用给出一个正确的估算, 本文利用  $2^{1/2}$  层海洋模式在 1 月和 4 月平均海面风场强迫下得到一个在此风场作用下的稳定的月平均海洋环流和由此

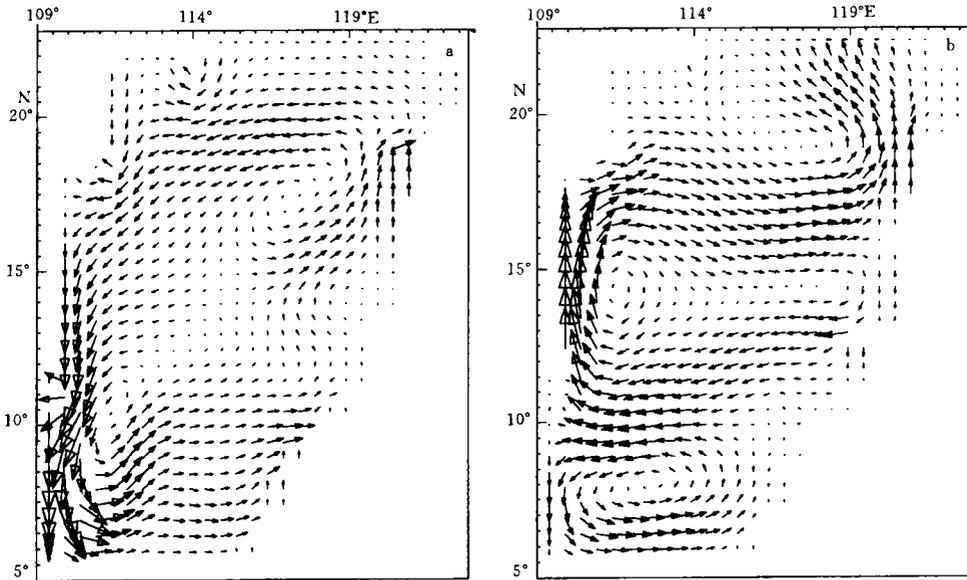


图3 数值计算得到的南海表层流场

Fig.3 Numerical calculated surface current field of SCS

a. 1月(网格尺度: 10.0cm/s); b. 4月(网格尺度: 2.5cm/s).

产生的海洋温度的变化;再利用大气边界层模式得到海洋对海面风场的一个反馈作用。数值计算的水平范围是南海海域(109°—122°E, 5°—22°N),水平网格分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,时间步长是900s。模式(7)、(8)中参数的选取和确定参看 McCreary 等(1994)。

初始时刻海面风场分别为1月和4月的多年平均海面风场(取自 COADS 资料),海洋模式的 $u_i = v_i = 0$ ,海温场为水平均匀的, $T_1 = 28^\circ\text{C}$ , $T_2 = 15^\circ\text{C}$ 。海洋模式积分280d,达到稳态,从而得到南海水平环流场、垂直速度场和相应的海温异常场,如图3,4所示。根据海温的变异,利用大气边界层模式(1)、(2),可以初步估算1月与4月海洋环流对海面风的反馈作用(图5)。

### 3.2 计算结果分析

**3.2.1 冬季(1月)** 在较强东北风作用下,冬季南海基本上由一气旋式环流控制(图3a),其中还包含有水平尺度较小的气旋式环流。由此整个南海下层冷水上涌(图4a),其上涌中心位于强气旋环流的中心(18°N, 118°E),强度达 $1.4 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 。这种上涌对上层海温的影响,再加上局地风的垂直混合和海流的平流效应,使得整个海域除7°N以南和西北角以外,上层海温异常全部为负值,最大负值中心在上涌中心附近(17.5°N, 117.5°E)。在海域东北-西南的对角线附近,风速较大,局地垂直混合作用强,故上层海温异常值较大(Liu, 1994)(图4b)。还应注意,地处低纬度的南海海盆,在强东北风作用下,出现海水在海盆西南角堆积。这种堆积会在西南角产生一个正压场,导致强的沿岸流,再加上15°N以南风应力的旋度基本为正,按照经典的大洋环流理论,会出现沿西边界向南的流速高的边界流。这两种效应的总和使海盆的西南角流速特别大,最大流速达到30.0cm/s。这种月平均意义下海温的变异会产生对东北季风的反馈作用,这种反馈作用也表现为以此对角线划界,海盆的西北部出现西南风加强,东南部出现东北风加

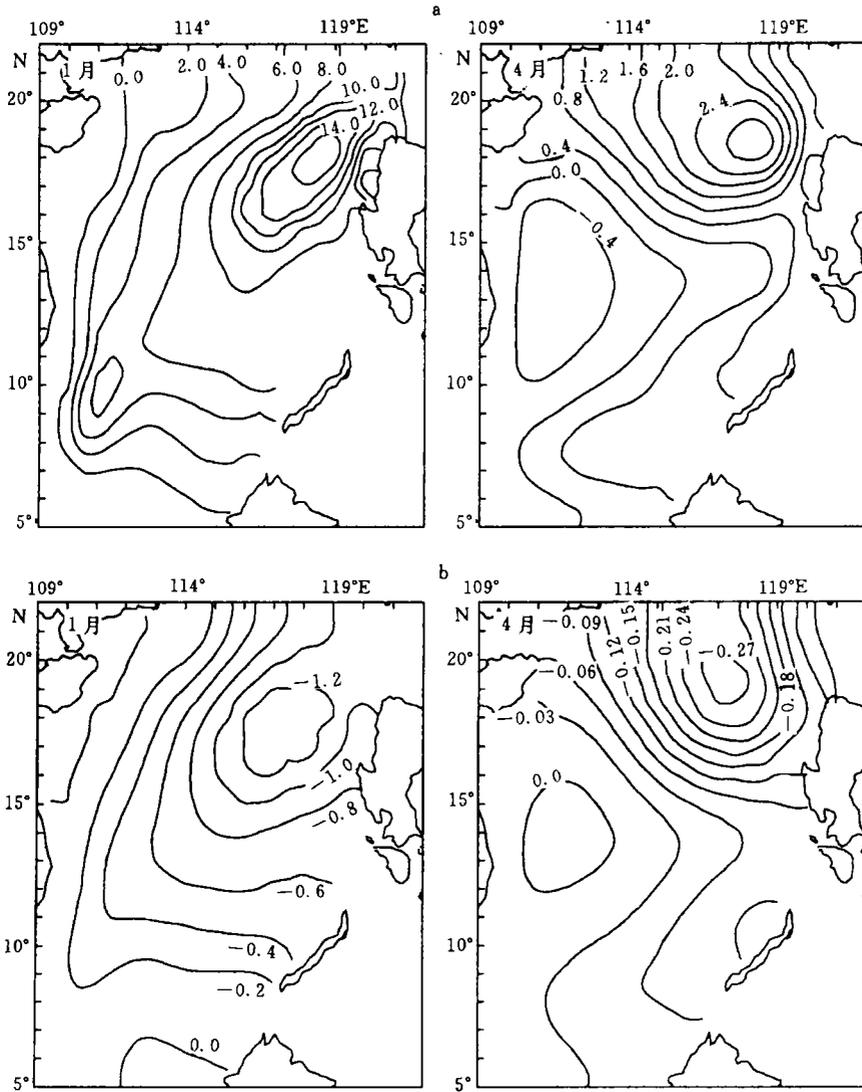


图4 数值计算得到的南海垂直速度场(a, 单位: 0.00 001cm/s)和SST异常场(b, 单位: °C)

Fig.4 Numerical calculated vertical velocity (a, unit: 0.000 01cm/s) and SST anomalous of SCS (b, unit: °C)

强。异常风应力要比月平均风应力小一个量级(图 5a)。海面风场与 SST 变异的水平分布形势一致, 在 13°N, 111°E 附近由于  $\partial T' / \partial x < 0, \partial T' / \partial y > 0$ , 故出现特别强的异常北风(参看(4)式), 异常风应力达到  $0.15 \times 10^{-5} \text{N} / \text{cm}^2$ 。

总之, 冬季(1月)季风与南海表层环流的相互作用会使南海西北部东北风减弱, 东南部东北风略有加强。这种减弱和加强的作用较小, 其量值不到原风速的 1/10。这种海气相互作用会有利于吕宋岛西北海域冷涡的形成和维持。

**3.2.2 春季(4月)** 4月海面风场基本以弱东风为主(图略), 风速几乎仅是冬季的 1/2。在此风场作用下, 南海上层海洋由三个风生环流控制: 北部吕宋岛以西是一个气旋式环流, 中部则有一反气旋环流, 南部又有一弱的气旋式环流(图 3b)。由于风应力旋度

场与冬季的差异( $10^{\circ}\text{N}$ 以北风应力旋度场基本为负),中部反气旋式环流会在西边界处形成流速较强的西边界流,最大流速达到  $8.0\text{cm/s}$ ,仅是冬季最大西边界流流速的  $1/4$  强。与此环流型相对应,下层冷水在南海南、北部各有一个上升中心,北部卷入的最大值达  $2.8 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ,比冬季位置偏北( $18.5^{\circ}\text{N}, 118^{\circ}\text{E}$ ),强度小一个量级,南部的上涌较弱。南海中部有一下沉区,中心位于  $13\text{N}, 112\text{E}$ ,下沉率达到  $4 \times 10^{-6}\text{cm/s}$ 。由于风海流的这种效应,春季不考虑辐射变化时,南海中部西侧海面温度略有上升,东部海温下降,特别是东部气旋式环流中心处,上层海温下降,在  $19^{\circ}\text{N}, 117^{\circ}\text{E}$  处异常值达到  $-0.27^{\circ}\text{C}$ ,这种海温的变异有利于南海海面风场的变异呈反气旋式,只在吕宋岛西侧海域异常海面风为西北风或东北风。这种异常风场风速达到4月平均海面风场风速的  $1/4-1/5$ (图

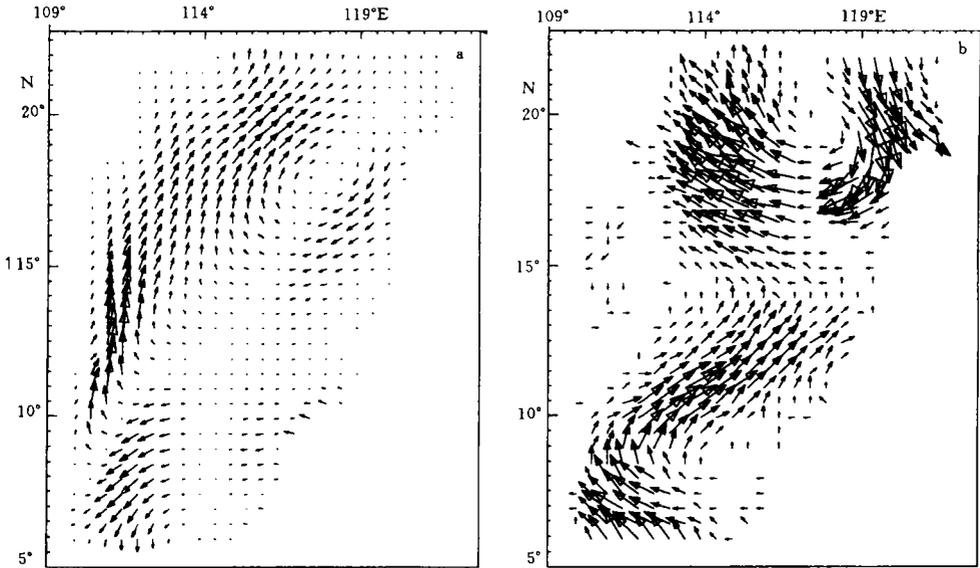


图5 南海表面异常风应力场

Fig.5 Sea surface wind anomalous field of SCS

a. 1月(网格尺度:  $0.5 \times 10^{-6}\text{N/cm}^2$ ); b. 4月(网格尺度:  $0.25 \times 10^{-6}\text{N/cm}^2$ ).

5b)。异常海面风场与 SST 变异场的分布形势一致,但由于  $\partial T' / \partial x$  与  $\partial T' / \partial y$  在南海不同海区的正负、大小都不同以及  $f$  随纬度的变化,会造成海区中有的地方由反馈效应造成异常风速大,有的地方异常风速小。

总之,春季(4月)冬季风与南海环流的相互作用对东北季风有削弱作用,而有利于越赤道流的转向和夏季风的建立。

#### 4 结论

冬、春两季东北季风与南海表层环流的相互作用可以理想化地理解为以下的物理过程:东北季风引起地处热带南海椭圆形海盆多涡旋式的风生环流,反气旋式的涡旋引起上层海水的下潜和气旋式的涡旋所引起上层海水的上涌都会影响 SST 的水平分布,从而形成海面异常冷暖中心,以至于产生大气低层风场在月以上时间尺度上的变异。这种相互作用的物理过程在冬、春两季具备以下特点。

4.1 冬、春两季东北季风都对吕宋岛西部海域冷涡的形成和维持有利。

- 4.2 冬季(1月)南海表层风生环流为一气旋式环流,其中还包含二个尺度较小的气旋式涡旋,整个南海会因环流作用 SST 降低。
- 4.3 春季(4月)南海南部与北部各有一个气旋式表层环流。北部气旋式环流较强,二个气旋式环流之间是一个反气旋式环流。由于环流的作用,对应于反气旋中心处 SST 略有上升,其余处 SST 下降。
- 4.4 冬季季风与南海表层环流的相互作用能使南海西北部东北风减弱,东南部东北风略有加强,越赤道的南风增强。这种作用的量级为月平均风速的 1/10。
- 4.5 春季,季风与南海表层环流的相互作用对东北季风有削弱作用,其量级达到月平均风速的 1/5,有利于越赤道流的转向和夏季风的建立。

本文仅讨论了南海海气相互作用系统的一部分内容,而且在讨论表层风海流时没有考虑周围大洋对南海的影响和海气热交换、辐射等因素对海温场的影响,这些影响有时是十分重要的。另外,海洋模式和大气模式中经验参数的选取还要通过实际海洋观测资料和遥感资料等进行订正,这些工作有待于以后展开进一步的研究。

### 参 考 文 献

- 于慎余等, 1994, 海洋与湖沼, **25**(5): 546—551.
- 何有海等, 1992, 海洋学报, **14**(3): 20—28.
- 章凡等, 1994, 热带海洋, **13**(3): 8—16.
- Lindzen, R. S. et al., 1987, *J. Atmos. Sci.*, **44**: 2418—2435.
- Liu Qinyu, 1994, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, **12**: 280—283.
- McCreary, J. P. et al., 1992, *Progress in Oceanography*, **29**, Pergamon, 61—132.
- McCreary, J. P. et al., 1994, *J. P. O.*, **24**: 466—497.
- Millersville, S. et al., 1995, *EOS, Transaction, American Geophysical Union*, **76**: 345—347.

## INTERACTION BETWEEN THE NORTHEAST MONSOON AND OCEAN CIRCULATION IN SOUTH CHINA SEA

Liu Qinyu, Li Wei, Xu Qichun

*(Institute of Physical Oceanography and Physical Oceanography Laboratory,  
Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)*

**Abstract** The air-sea interaction of time scale larger than month is an important mechanism of low frequency anomaly in the upper layer ocean and atmosphere. A  $2^{1/2}$ -layer ocean model and a simple one-layer model of the boundary layer in atmosphere are used in this paper to simulate the seasonal variation of the sea surface wind, surface current and SST in the South China Sea (SCS). The basic pattern of the SCS's upper layer ocean circulation forced by the northeast monsoon and its effect on the SST are studied. Furthermore, feedback of SST on sea surface wind are calculated.

The results show that the interaction between the northeast monsoon and SCS circulation favors the formation and maintenance of the cyclonic cool eddy west of Luzon Island during winter and spring. In winter (January), there is a cyclonic circulation forced by the strong northeast monsoon in the upper ocean. The feedback effect of the cyclonic circulation on the monsoon could make the northeasterly get weaker in the northwest and a little stronger in the southeast of the SCS, and make the cross-equatorial flow (from north to south) get stronger. In spring (April), the northeast monsoon is weaker, a cyclonic circulation occurs in the south and the north, and an anticyclonic circulation occurs between them. The feedback of the upper layer ocean circulation on the monsoon could make the northeasterly get weaker in the SCS, and favors changing of the cross-equatorial flow and formatting of the summer monsoon.

**Key words** Northeast monsoon South China Sea circulation Interaction  
Feedback Cross-equatorial flow