

# 2005—2009 年、2011 年和 2013 年南海东北部 120°E 断面秋季体积输运的年际变化\*

侯华干<sup>1,2</sup> 谢强<sup>1,3①</sup> 陈更新<sup>1</sup> 何云开<sup>1</sup> 舒业强<sup>1</sup>  
TILAK Priyadarshana<sup>4</sup> 姚景龙<sup>1</sup> 王东晓<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室 广州 510301; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 中国科学院三亚深海科学与工程研究所 三亚 572000; 4. Faculty of Fisheries and Marine Sciences & Technology University of Ruhuna, Matara, Sri Lanka)

**摘要** 基于 2005 年至 2009 年、2011 年和 2013 年各年九月份南海开放航次获取的南海东北部 120°E 断面的水文观测资料, 运用了地转流诊断和模态分解两种方法, 研究了该断面流场结构和体积输运的年际变化特征。2005 年、2006 年、2007 年和 2013 年流场呈显著斜压特征, 断面上、下层流速方向相反; 而 2008、2009 年和 2011 年流场垂向变化不明显, 呈现准正压结构。断面体积输运沿深度分布呈现三种方式: 一致向西(2005 年、2007 年和 2011 年), 上西下东(2008 年和 2013 年)和上东下西(2006 年和 2009 年)。断面净体积输运亦有显著年际变化, 在 2005 年出现西向最大 -11.2Sv, 在 2013 年出现东向最大 9.1Sv, 而在 2009 年仅为西向 -1.2Sv。模态分解表明, 准正压结构的年份, 流场主要被正压模态控制, 但第一斜压模态亦不可忽略; 而斜压结构的年份, 流场由正压模态和第一斜压模态共同主导。

**关键词** 断面体积输运; 南海; 吕宋海峡; “三明治”结构; 正压模态; 斜压模态

**中图分类号** P731 **doi:** 10.11693/hyhz20150400125

吕宋海峡位于台湾岛和吕宋岛之间, 其宽度大约为 350km, 海槛深度在 2400—2600m 之间, 是连接中国南海与西太平洋的唯一深水通道。南海与西太平洋在吕宋海峡存在显著的水交换, 吕宋海峡体积输运强弱能影响整个南海, 特别是南海北部的环流结构(Wyrtki *et al.*, 1961; Nitani, 1972; Qiu *et al.*, 1996; Hu *et al.*, 2000; Yaremchuk *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2011a, 2014; Nan *et al.*, 2014; Su *et al.*, 2014)。

吕宋海峡体积输运存在显著的季节和年际变化, 主要被黑潮入侵、ENSO、中尺度涡和季风等四种因素所控制(Qu, 2000; Centurioni *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2011a, b)。东北季风利于黑潮入侵南海, 因而冬季体积输运普遍高于夏季(Wyrtki, 1961;

Fang *et al.*, 2005)。Qu 等(2004, 2006)的模式研究表明, 吕宋海峡体积输运在 El Niño 年份相对较高, La Niña 年份相对较低。Rong 等(2007)基于多年的海表高度数据和 World Ocean Atlas 2001(WOD01)海温数据, 得到了多年冬季和春季的吕宋海峡体积输运, 指出 ENSO 能够影响整个南海的海表高度和海表温度, 进而影响南海和周围大洋的水体交换, 包括吕宋海峡水输运。亚热带的模态水由于存在太平洋年代际震荡(PDO)的影响, 同样影响吕宋海峡次表层的体积输运, 并使其产生年际变化(Yu *et al.*, 2015)。

吕宋海峡体积输运随深度亦有显著变化。研究发现, 吕宋海峡存体积输运在上、下层西向, 中层东向的斜压“三明治”结构, 其中上层大约为表层至到

\* 国家自然科学基金项目, 41276024 号, 41476011 号, 91228202 号; 三亚深海科学与工程研究所知识创新工程领域前沿项目, SIDSSE-201205 号; 中国科学院战略性先导科技专项(B类)项目, XDB06020101 号。侯华干, 硕士研究生, E-mail: 417728851@qq.com

通讯作者: 谢强, 博士生导师, 研究员, E-mail: gordonxie@sidsse.ac.cn

收稿日期: 2015-04-26, 收修改稿日期: 2015-09-10

500m, 中层为 500—1500m, 下层为 1500m 以下(Tian *et al*, 2006; Liang *et al*, 2008; Yuan *et al*, 2008, 2009)。每一层水流方向沿经线呈现交替分布(Qu *et al*, 2004; Tian *et al*, 2006; Zhou *et al*, 2009)。Tian 等(2006)年基于 2005 年 10 月断面水文观测和同期 LADCP 数据计算表明, 上层体积运输约为-9Sv, 中层体积运输约为 5Sv, 下层约为-2Sv。然而, Yang 等(2010)研究表明, 2007 年 6 月吕宋海峡对应的三层体积运输分别为 5Sv、2.5Sv 和-2Sv, 未出现“三明治”结构。

由于观测资料的限制, 吕宋海峡流场结构、体积运输的垂向分布特征等尚不明确, 需要进一步研究。本文基于 7 年九月份的水文观测资料, 研究吕宋海峡 120°E 断面流场结构、体积运输。下文第一部分介绍本文使用的数据和方法; 第二部分探讨断面流场结构、体积运输等的年际变化。

## 1 数据与方法

自 2004 年以来, 中国科学院南海海洋研究所每年 8 月底至 10 月初皆对吕宋海峡附近南海东北部 120°E 断面进行水文观测(2012 年除外), 观测范围通常为北纬 19.5°—21.5°N(2006 年和 2013 年为 19°N 至 21.5°N), 采样间隔为 0.5°, 观测深度一般为 1500m。所使用的 CTD 的温度精度为  $10^{-4}$ °C, 盐度精度为  $10^{-3}$ , 采样频率为 24Hz(Zeng *et al*, 2015)。其中 2005 年出现少量位置数据异常, 通过周围有效数据点插值修正。2004 年与 2010 年由于 CTD 绞车故障, 观测深度分别仅为 200m 和 500m, 不能有效用于吕宋海峡水交换研究。故本文用到的 CTD 数据年份为 2005—2009 年、2011 年和 2013 年, 各年 CTD 站位如图 1 所示。

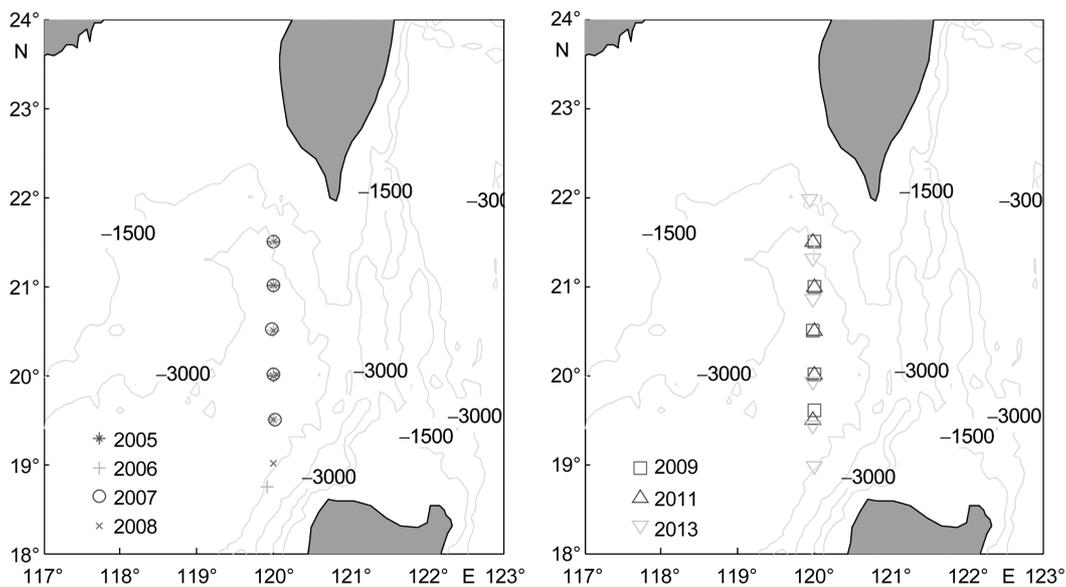


图 1 南海东北部 120°E 北部断面 2005 年至 2013 站位图和水深图

Fig.1 The stations at the transect of 120°E northeast of South China Sea from 2005 to 2013 and the topography

基于温盐观测, 本文先计算 120°E 断面地转流。

地转流计算公式为:

$$u - u_0 = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-H}^h g'(\varphi, z) \rho(z) dz$$

式中,  $u$  为纬向速度;  $u_0=0$ , 为“动力零面”流速;  $f=2\omega \sin\varphi$ , 即行星涡度(其中,  $\omega$  是地球自转角速度,  $\varphi$  是纬度);  $g'$  为约化重力加速度;  $\rho$  是局地海水密度;  $h$  是所求速度所在深度;  $H$  是“动力零面”的深度。本文采取 1500m 作为“动力零面”深度(因数据观测所限, 2007、2013 的部分站位和 2009 年取 1000m 作为“动

力零面”深度; 参见“讨论”部分)。

进一步, 通过对流速的垂直模态分解(Gill, 1984), 获得 120°E 断面流场的正压和斜压特性。分解结果中, 第零阶模态为正压模态, 速度大小和方向沿垂向均一致; 第一模态为第一斜压模态, 速度方向沿深度出现一次变换; 第二模态为第二斜压模态, 速度方向沿深度出现两次变换。以此类推, 越高阶的斜压模态沿水深方向越复杂, 其信号也通常越弱。一般对于大洋的研究, 计算到第二斜压模态即可(Gill, 1984)。

## 2 结果分析

### 2.1 流场结构

图 2 给出了  $120^{\circ}\text{E}$  断面各年的流速结构。可以发现, 2005、2006、2007 年和 2013 年流速在垂向上存在明显的斜压特征。这几年, 在 300m 以下的深度, 某

个特定纬度处(2005 年在  $20^{\circ}\text{N}$ , 2006 年在  $19.5^{\circ}\text{N}$ , 2007 年在  $21^{\circ}\text{N}$ , 2013 年在  $20.5^{\circ}\text{N}$ ), 存在一个西向的流核(图 2 中的蓝色区域), 而该西向流核的上方存在显著的东向流。这一现象印证了吕宋海峡的“三明治”结构的上两层部分。

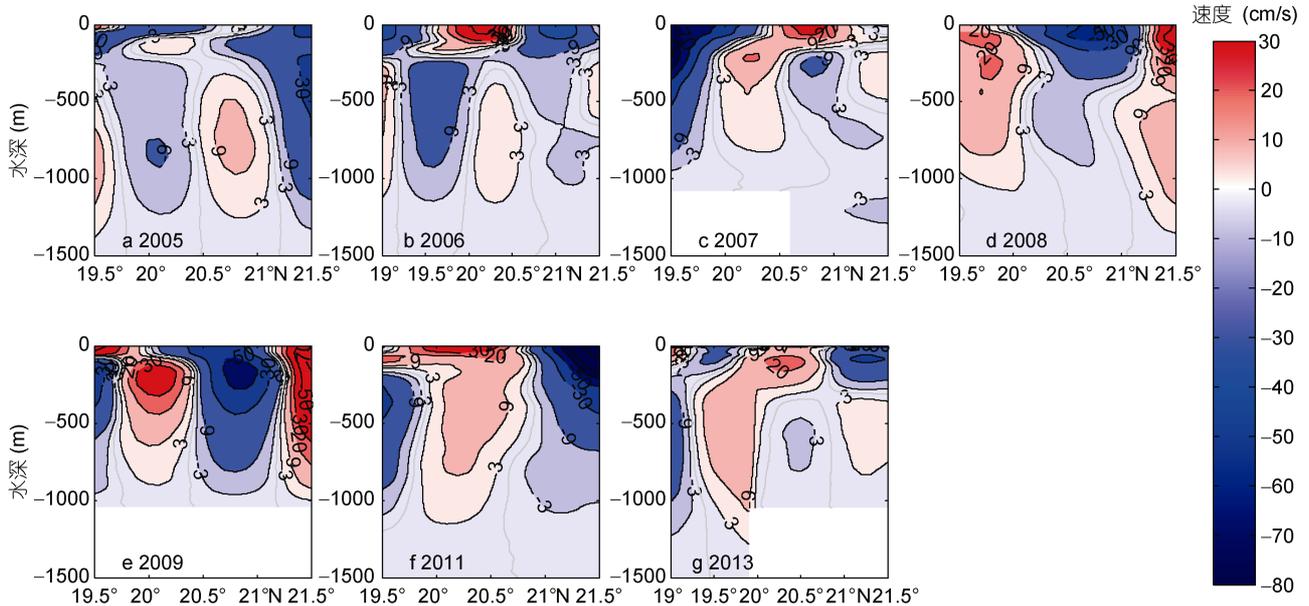


图 2 各年  $120^{\circ}\text{E}$  断面流场分布

其中红色为东向(为正), 蓝色为西向(为负)。下标 a、b、c、d、e、f、g 分别表示 2005—2009、2011 和 2013 年

Fig.2 The velocity field in  $120^{\circ}\text{E}$  transect

Red means eastward, blue means westward. The subscripts of a, b, c, d, e, f, g represent the years of 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2013, respectively

相比于上述 4 年, 2008 年、2009 年和 2011 年流场在垂向上无明显速度反向, 呈准正压结构。2008 年和 2009 年的流场结构有些相似,  $120^{\circ}\text{E}$  断面南、北两端皆出现东向水运输, 而在海峡中部  $20.5^{\circ}\text{N}$ — $21^{\circ}\text{N}$  区域存在西向水运输。2011 年的情况恰好相反, 海峡南、北两端是西向水运输, 而海峡中部  $19.7^{\circ}\text{N}$ — $21.7^{\circ}\text{N}$  是东向水运输。

综上, 2005、2006、2007 年和 2013 年流场分布斜压性强, 呈现“三明治”结构的上两层, 上中层分界深度大约为 100m 至 400m, 随年份变化; 2008 年、2009 年和 2011 年流场呈现准正压形态, “三明治”结构不明显或者不存在。以上结果表明, 吕宋海峡流场结构具有显著的年际变化, 并非一直呈前人揭示的“三明治”结构。

### 2.2 体积运输

将流场沿经向积分, 可以得到  $120^{\circ}\text{E}$  断面体积运输的垂向分布特征。由于每年观测范围不同, 我们将

经度积分范围统一取为  $19.5^{\circ}\text{N}$ — $21.5^{\circ}\text{N}$ , 计算结果如图 3a 所示。 $120^{\circ}\text{E}$  断面体积运输随深度呈现显著变化: 2005 年、2007 年和 2011 年, 这 3 年的体积运输方向随着深度不变, 皆为西向(图中正值为东向), 总运输显正压; 2008 年和 2013 年, 这两年表层至大约 200m 左右的体积运输方向为西向, 中层体积运输方向转变为东向, 总运输显斜压; 而 2006 年和 2009 年, 这两年约 50m 层以上呈东向运输, 次表层和中层则为西向运输, 总运输亦显斜压。

进一步, 将体积运输垂向积分, 得到截面的净体积运输。净体积运输呈显著的年际变化(图 3b): 在 2005 年出现西向最大体积运输, 为  $-11.2\text{Sv}$ ; 在 2013 年出现东向最大体积运输, 为  $9.1\text{Sv}$ ; 在 2009 年出现最弱体积运输, 仅为  $-1.2\text{Sv}$ 。7 年观测中, 仅 2008 年和 2013 年出现了东向体积运输。其中, 2008 年东向运输可能是由于该年黑潮流套入侵(Chen *et al.*, 2011b) 在台湾岛西南部产生大的东向体积运输所致。

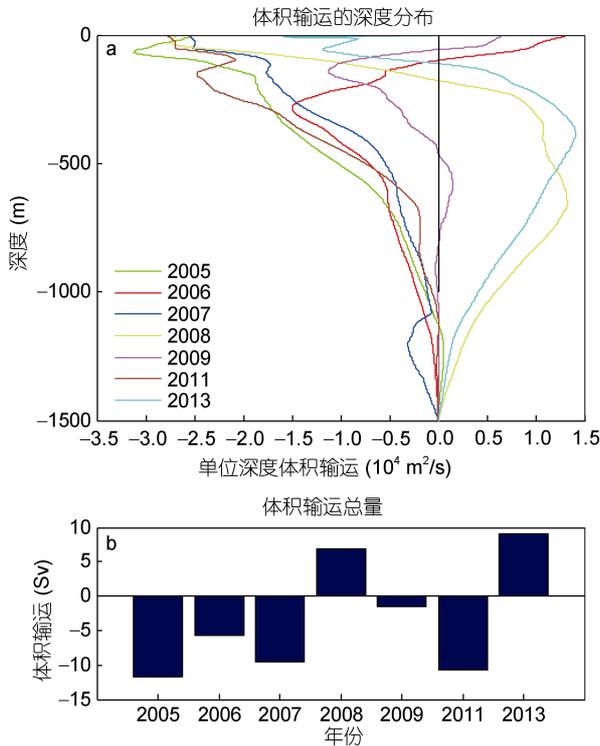


图 3 (a)各年体积输运沿深度的分布图; (b)各年体积输运总量图

Fig.3 (a) The vertical structure of volume transport; (b) The total volume transport

### 2.3 模态分解与模态通量分析

为进一步研究 120°E 断面流场分布的正斜压特

性, 我们对流速较强的上层 1000m 流场进行模态分解, 结果如图 4 所示。通过图 4 可以发现正压模态与前两斜压模态即可表征当年的流场特征, 剩余模态流速较小(图 4 第一行)。

通过计算各模态速率的平均值, 可以揭示各个模态的强弱(表 1)。其中准正压结构流场 2008 年、2009 年和 2011 年, 最大, 它们速率平均值分别为 0.102m/s、0.157m/s 和 0.123m/s, 远大于最大的斜压模态, 并且每年第一斜压模态都大于第二斜压模态。对于最大速度出现在海表的 2008 年和 2011 年, 第二斜压模态相对较小, 但对于最大速度出现在中层(200m—400m)的 2009 年, 第一斜压模态和第二斜压模态贡献相差

不大。  
斜压结构的 2005 年, 2006 年, 2007 年和 2013 年, 各模态贡献有显著差异。2006 年和 2007 年第一斜压模态最大(0.051m/s 和 0.028m/s), 强于正压模态和第二斜压模态。2005 年和 2013 年正压模态大于第一斜压模态, 但是相差很小(2005 年相差 0.004m/s, 2013 年相差 0.005m/s), 所以这两年是正压模态和第一斜压模态共同主导的。

通过图 4 可以看出斜压结构的上层部分被第二斜压模态所显示, 而中层部分是通过第一斜压模态显示的。所以当 500m 以下出现很强流速时, 第二斜压模态便会占主导; 对于其它位置, 中层流相对较

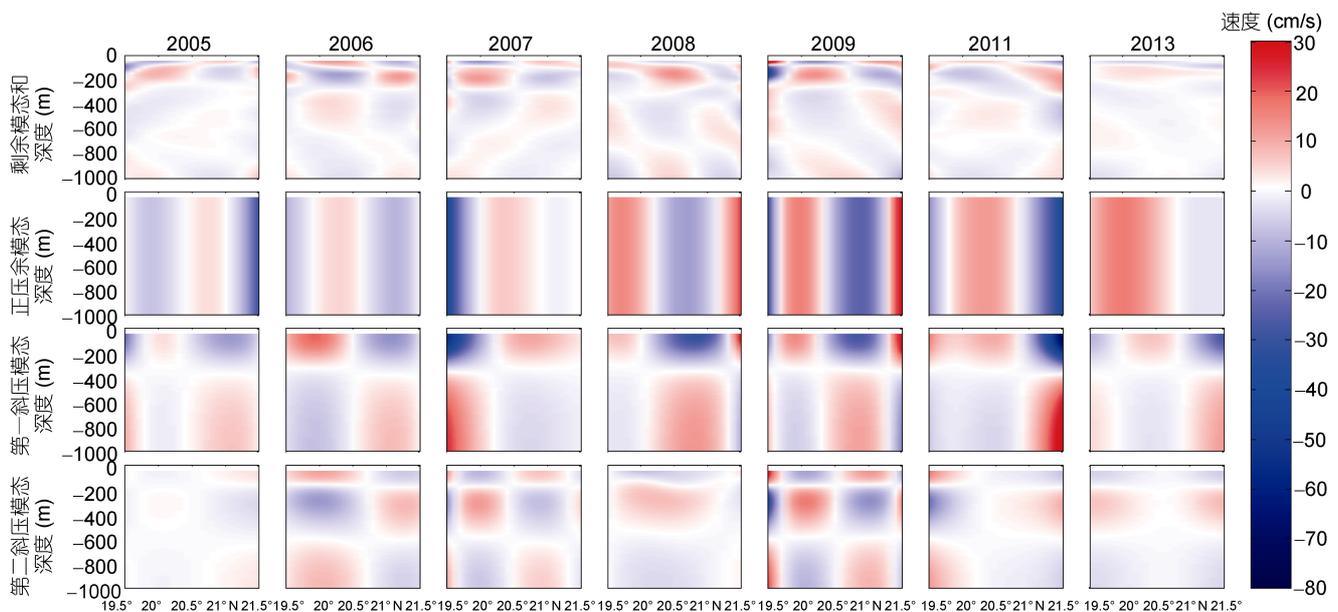


图 4 各年的模态分解结果, 其中红色代表东向流速(为正), 蓝色代表西向流速(为负)

从上到下每一行分别是: 剩余模态的和、正压模、第一斜压模和第二斜压模

Fig.4 The normal mode solution of each year. Red means eastward, blue means westward

The first line is the sum of other modes, the second line is barotropic mode, the third line is baroclinic mode 1, and the last line is baroclinic mode2

表 1 各年份各个模态截面的速率平均值  
Tab.1 The mean speed of the mode in each study year

年份	速率的平均值(m/s)			
	正压模态	第一斜压模态	第二斜压模态	
斜压结构年份	2005	0.037	0.033	0.006
	2006	0.047	0.051	0.041
	2007	0.026	0.028	0.028
	2013	0.049	0.044	0.016
正压结构年份	2008	0.102	0.061	0.022
	2009	0.157	0.063	0.059
	2011	0.123	0.074	0.029

弱, 则第一斜压模态占主导。

整体而言, 比较斜压模态与正压模态速率平均

值可以发现, 斜压结构斜压性要强于准正压性。2005 年和 2013 年属于斜压结构, 但是其正压性仍然很强, 此时断面受正压模态和第一斜压模态共同主导, 斜压性大于准正压结构的只受正压模态主导情况, 这两年属于正压成分很大斜压结构。

各模态体积输运垂向分布表明(图 5), 正压模态反映了各年体积输运的平均值, 斜压模态反映了流场的垂向变化。对于 2005 年, 2007 年和 2011 年体积输运一致向西(图 3b), 第二斜压模态几乎为零, 整体的体积输运分布基本由正压模态和第一斜压模态所表征。而对于体积输运在垂向上出现方向变化的 2006、2008、2009 和 2013 年, 体积输运主要由前三个模态共同贡献。

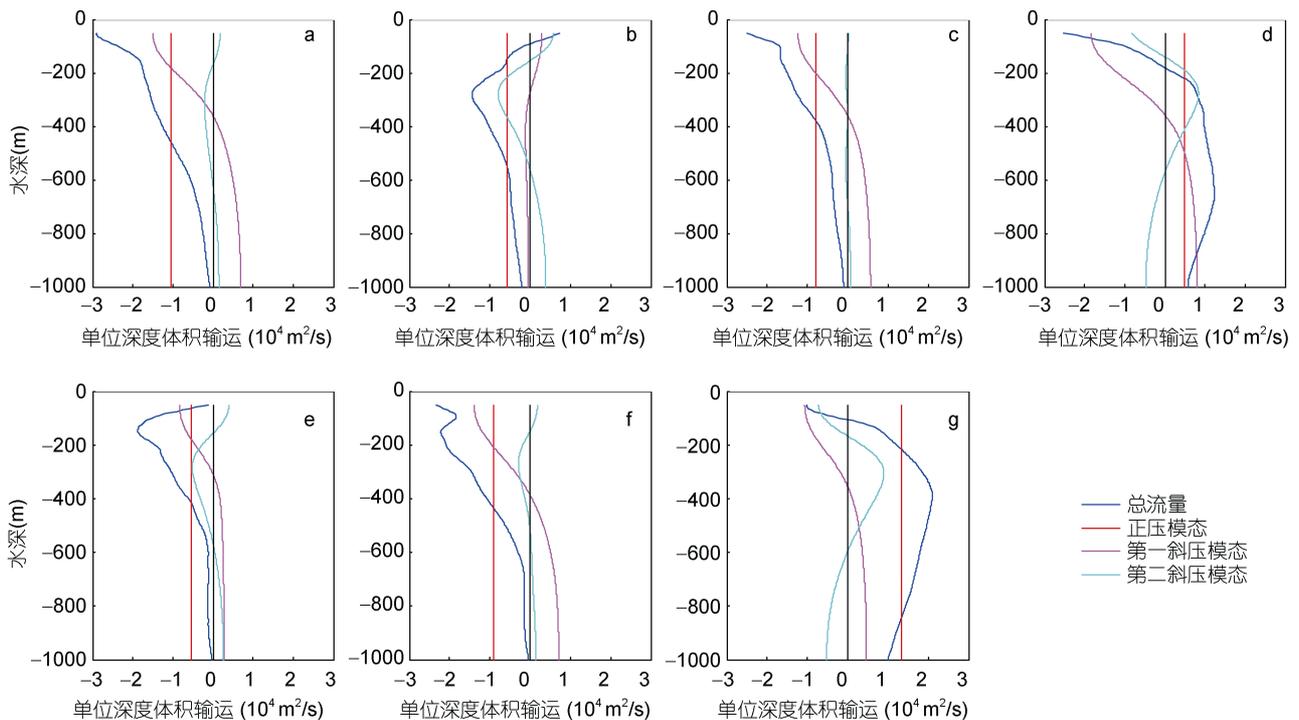


图 5 各模态的体积输运垂向分布

a、b、c、d、e、f、g 分别表示 2005—2009, 2011 和 2013 年

Fig.5 The vertical structure of volume transport of each mode  
a, b, c, d, e, f, g represent the years of 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2013, respectively

### 3 讨论

本研究通过分析七年来的断面 CTD 资料, 计算了 120°E 断面的流场结构, 并对结构的正压斜压性进行了分析。本文取 1500m 作为“动力零面”深度, 但因 2007 年断面 20.6°N 以南、2013 年断面 19.9°N 以北和 2009 年站位的观测深度所限, 这些年份相应站位“动力零面”被选定为 1000m。研究表明, 1000m 以

下体积输运除了 2008 年占总体积输运的 17%以外, 其它各年所占比例都小于 8.5%, 最小的 2005 年仅为 0.3%。因而 1000m 以下的体积输运对总体积输运贡献较小, 不影响本文的结论。

黑潮入侵南海的路径、方式和吕宋海峡大量的中尺度涡对吕宋海峡流场结构、水交换等皆有重要影响。120°E 断面的交替东西向流, 可能是黑潮入侵南

海的体现,亦可能是南海内部涡旋、环流影响所致(Chen *et al*, 2011c)。因而单个剖面观测到的东西向流,不能简单认为是西太和南海的水交换路径和流量。大面积水文观测、卫星观测资料和数模的结合应用,可以较好地阐明此科学问题。

#### 4 结论

基于 CTD 观测资料,本文研究了 2005 年至 2013 年(其中无 2010 年和 2012 年)7 年 120°E 断面的流场结构和体积输运,得到以下结论:

(1) 120°E 断面流场结构存在显著的年际差异,其中 2005 年、2006 年、2007 年和 2013 年流场呈明显斜压结构,流速在深度上不仅存在大小变化,亦存在方向变换;而 2008 年、2009 年和 2011 年流场呈准正压结构,流速沿深度仅存在大小变化,没有方向改变。不同年份的体积输运随深度亦有显著差异,2005 年、2007 年和 2011 年,体积输运全水深皆向西;2008 年和 2013 年,体积输运表层向西、深层向东;2006 年和 2009 年,表层向东、深层向西。净体积输运大小存在很强的年际变化,西向最大为 $-11.2Sv$ ,出现在 2005 年;东向最大为 $9.1Sv$ ,出现在 2013 年;而 2009 年净体积输运仅为 $-1.2Sv$ 。

(2) 模态分解结果显示:2006 年和 2007 年断面的斜压性最强,最大模态为第一斜压模态;2005 年和 2013 年相对斜压性弱,整体由正压模态和第一斜压模态共同主导,最大模态为正压模态;2008 年、2009 年和 2011 年正压性远大于斜压性。整体体积输运结果显示,对于总体积输运显正压的年份,体积输运通过正压模态和第一斜压模态两者主导;对于总体积输运显斜压的分布方式,由于前三模态所占比例相差不多,所以是由三个模态共同主导。

#### 参 考 文 献

- Centurioni L R, Niiler P P, Lee D K, 2004. Observations of inflow of Philippine Sea surface water into the South China Sea through the Luzon strait. *Journal of Physical Oceanography*, 34(1): 113—121
- Chen G X, Hou Y J, Chu X Q, 2011a. Mesoscale eddies in the South China Sea: mean properties, spatiotemporal variability, and impact on thermohaline structure. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 116(C6), doi: 10.1029/2010JC006716
- Chen G X, Hu P, Hou Y J *et al*, 2011b. Intrusion of the Kuroshio into the South China Sea, in September 2008. *Journal of Oceanography*, 67(4): 439—448
- Chen G X, Hou Y J, Chu X Q, 2011c. Water exchange and circulation structure near the Luzon Strait in early summer. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 29(2): 470—481
- Chen G X, Xue H J, 2014. Westward intensification in marginal seas. *Ocean Dynamics*, 64(3): 337—345
- Fang G H, Susanto D, Soesilo I *et al*, 2005. A note on the South China Sea shallow interocean circulation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 22(6): 946—954, doi: 10.1007/BF02918693
- Gill A E, 1984. On the behavior of internal waves in the wakes of storms. *Journal of Physical Oceanography*, 14(7): 1129—1151
- Hu J Y, Kawamura H, Hong H S *et al*, 2000. A review on the currents in the South China Sea: Seasonal circulation, South China Sea Warm Current and Kuroshio intrusion. *J Oceanogr*, 56(6): 607—624
- Liang W D, Yang Y J, Tang T Y *et al*, 2008. Kuroshio in the Luzon Strait. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 113(C8): C08048, doi: 10.1029/2007JC004609
- Nan F, Xue H J, Yu F, 2014. Kuroshio intrusion into the South China Sea: A review. *Progress in Oceanography*, 137: 314—333, doi: 10.1016/j.pocean.2014.05.012
- Nitani H, 1972. Beginning of the kuroshio. In: Stommel H, Yashida K eds. *Kuroshio: Physical Aspects of the Japan Current*. Seattle, USA: University of Washington Press, 129—163
- Qiu B, Lukas R, 1996. Seasonal and interannual variability of the North Equatorial Current, the Mindanao Current, and the Kuroshio along the Pacific western boundary. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 101(C5): 12315—12330, doi: 10.1029/95JC03204
- Qu T D, 2000. Upper-layer circulation in the South China Sea. *Journal of Physical Oceanography*, 30(6): 1450—1460
- Qu T D, Garton J B, Whitehead J A, 2006. Deepwater overflow through Luzon Strait. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 111(C1): C01002, doi: 10.1029/2005JC003139
- Qu T D, Kim Y Y, Yaremchuk M *et al*, 2004. Can Luzon Strait transport play a role in conveying the impact of ENSO to the South China Sea? *Journal of Climate*, 17(18): 3644—3657
- Rong Z R, Liu Y G, Zong H B *et al*, 2007. Interannual sea level variability in the South China Sea and its response to ENSO. *Global and Planetary Change*, 55(4): 257—272
- Su Y Q, Xue H J, Wang D X *et al*, 2014. Meridional overturning circulation in the South China Sea envisioned from the high-resolution global reanalysis data GLBa0.08. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 119(5): 3012—3028, doi: 10.1002/2013JC009583
- Tian J W, Yang Q X, Liang X F *et al*, 2006. Observation of Luzon Strait transport. *Geophysical Research Letters*, 33(19): L19607, doi: 10.1029/2006GL026272
- Wyrtki K, 1961. *Scientific Results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961*. NAGA Report, Vol. 2, San Diego, USA: University of California, 164—169
- Yang Q X, Tian J W, Zhao W, 2010. Observation of Luzon Strait

- transport in summer 2007. *Deep Sea Research Part I*, 57(5): 670—676, doi: 10.1016/j.dsr.2010.02.004
- Yaremchuk M, McCreary Jr J, Yu Z J *et al*, 2009. The South China Sea through flow retrieved from climatological data. *Journal of Physical Oceanography*, 39(3): 753—767, doi: 10.1175/2008JPO3955.1
- Yu K, Qu T D, Dong C M *et al*, 2015. Effect of subtropical mode water on the decadal variability of the subsurface transport through the Luzon Strait in the western Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 120(10), doi: 10.1002/2015JC011016
- Yuan Y C, Liao G H, Yang C H, 2008. The Kuroshio near the Luzon Strait and circulation in the northern South China Sea during August and September 1994. *Journal of Oceanography*, 64(5): 777—788, doi: 10.1007/s10872-008-0065-6
- Yuan Y C, Liao G H, Yang C H, 2009. A diagnostic calculation of the circulation in the upper and middle layers of the Luzon Strait and the northern South China Sea during March 1992. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47(1—3): 86—113, doi: 10.1016/j.dynatmoce.2008.10.005
- Zeng L L, Wang Q, Xie Q *et al*, 2015. Hydrographic field investigations in the Northern South China Sea by open cruises during 2004-2013. *Science Bulletin*, 60(6): 607—615
- Zhao W, Hou Y J, Qi P *et al*, 2009. The effects of monsoons and connectivity of South China Sea on the seasonal variations of water exchange in the Luzon Strait. *Journal of Hydrodynamics, Series B*, 21(2): 264—270, doi: 10.1016/S1001-6058(08)60144-4
- Zhou H, Nan F, Shi M C *et al*, 2009. Characteristics of water exchange in the Luzon Strait during September 2006. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27(3): 650—657, doi: 10.1007/s00343-009-9175-2

## OBSERVED INTER-ANNUAL VARIABILITY OF VOLUME TRANSPORT AT 120°E TRANSECT IN NORTHEASTERN SOUTH CHINA SEA

HOU Hua-Qian<sup>1,2</sup>, XIE Qiang<sup>1,3</sup>, CHEN Geng-Xin<sup>1</sup>, HE Yun-Kai<sup>1</sup>, SHU Ye-Qiang<sup>1</sup>,  
TILAK Priyadarshana<sup>4</sup>, YAO Jing-Long<sup>1</sup>, WANG Dong-Xiao<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Tropical Oceanology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Deep-Sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572000, China; 4. Faculty of Fisheries and Marine Sciences & Technology University of Ruhuna, Matara, Sri Lanka)

**Abstract** Using hydrographic data with geostrophic calculation and normal mode analysis along the 120°E transect in September from 2005 to 2009, 2011, and 2013, we revealed the vertical characteristics and interannual variation of the velocity fields in the northeastern South China Sea (SCS). Results show that, the direction of velocity fields in 2005, 2006, 2007, and 2013 changed with depth and presented a baroclinic structure, and were dominated by barotropic and the first baroclinic modes as revealed in normal mode analysis. Differently, the velocity fields were uniform in vertical structures in 2008, 2009, and 2011, which was resulted mainly from the barotropic mode contributions. The volume transport along the section in depth can be classified into three types: westward transport in all depths (i.e., 2005, 2007, and 2011), westward transport in the upper layer and eastward transport in deeper layers (2008 and 2013), and eastward transport in upper layer and westward in lower layer (2006 and 2009). The net volume transport presented an obvious interannual variability. The maximal westward transport was  $-11.2\text{Sv}$  in 2005, whereas the maximal eastward transport was  $9.1\text{Sv}$  in 2013. The minimal transport occurs in 2009 for only  $-1.2\text{Sv}$ . In addition, the quasi barotropic volume transport is dominated by the barotropic mode and the first baroclinic mode, in which the barotropic mode is bigger than the the first baroclinic mode. For the baroclinic volume transport, the barotropic mode and the first two baroclinic modes are the leading modes.

**Key words** volume transport; Luzon Strait; South China Sea; barotropic mode; baroclinic mode