

# 南海次表层和中层水团年平均和季节变化特征\*

刘长建<sup>1,2</sup> 杜岩<sup>1,3</sup> 张庆荣<sup>1</sup> 王东晓<sup>1①</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室 广州 510301; 2. 国家海洋局南海工程勘察中心 广州 510300; 3. International Pacific Research Center, SOEST, University of Hawaii, Honolulu, USA)

**提要** 为了弄清北太平洋水入侵南海的状况, 利用历史观测温-盐数据等资料对其进行了分析。结果表明: 在盐度极大值层北太平洋水通过吕宋海峡的入侵整年发生, 并且其入侵有很大的季节变化, 冬季东北季风盛行时最强。北太平洋热带水(NPTW)入侵的季节变化与次表层地转流和南海的经向翻转环流结构有密切联系。具有盐度极小值特性的北太平洋中层水(NPIW)也通过吕宋海峡入侵南海, 但其季节变化与 NPTW 完全反位相。冬季, 由于在中层水深度北向运动的南海经向翻转环流的阻碍作用, NPIW 入侵南海最弱。作者认为, 北太平洋水入侵南海的机制可以基本上从南海的地转流及经向翻转环流得到解释。

**关键词** 南海水团, 地转流, 经向翻转

**中图分类号** P731.21

北太平洋与南海通过吕宋海峡的水交换一直是南海海洋科学研究的热点问题之一(Chu, 1972; Qu, 2002; Qu *et al.*, 2006; 刘秦玉等, 2000; 刘增宏等, 2001; 李凤岐等, 2002; 李磊等, 2002; 李燕初等, 2004; 黄企洲等, 1996; 赵伟等, 2007)。吕宋海峡是南海与外洋相连的所有通道中最深的海峡, 达到约2500m。北太平洋与南海之间存在显著的水交换, 影响着南海的水团构成和南海内部的海洋热力和动力过程(Chu, 1972; Qu, 2002; Qu *et al.*, 2006; 赵伟等, 2007)。

最早 Wyrki(1961)给出吕宋海峡的表层输运状况, 冬季太平洋水进入南海, 夏季南海水流回太平洋。徐锡祯等(1980)分析 1921—1970 年期间的南海历史调查资料, 给出了多年季节平均的南海上层和中层地转流格局; 显示南海环流并非完全封闭, 而是与外海存在交换。仇德忠等(1984), 郭忠信等(1985)指出在温跃层深度范围内, 冬、夏季沿中国南部大陆坡有一西

向流, 分析水团性质后称其为南海黑潮分支; Shaw(1989, 1991)和 Qu 等(2000)指出经吕宋海峡的北太平洋水入侵南海似乎是一种整年存在的现象, 并影响了南海内部的水体分布。Farris 等(1996)利用卫星遥感海表温度和风场资料, 研究了吕宋海峡区域的黑潮及其通过吕宋海峡时的路径。

在前述研究的基础上, 通过分析最新整理的历史观测数据, 本文中作者给出气候意义下北太平洋水通过吕宋海峡入侵南海的变化特征, 结合该海域环流结构与变化, 探讨北太平洋水的入侵过程。

## 1 数据和方法

本文中所用的历史温-盐数据包括两部分: 中国科学院南海海洋研究所搜集的历史温-盐数据<sup>1)</sup>(包括近几年的 CTD 数据); WOD01 (World Ocean Database 2001, NODC, USA)中的 OSD (Ocean Station Data)、

\*国家自然科学基金项目“南海上层海洋垂向层化结构及其与表面强迫的关系”, 40406006 号; 国家自然科学基金项目“南海北部季节性上升流的变化特征研究”, 40576013 号和中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目“南海北部海洋生态动力学特征研究”, KZCX3-SW-227 号。刘长建, E-mail: lcjh@scsio.ac.cn

① 通讯作者: E-mail: dxwang@scsio.ac.cn

1) 王卫强, 王东晓, 杜岩等, 2002. 一套新的南海历史温盐资料集. 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室技术报告

收稿日期: 2006-01-04, 收修改稿日期: 2007-03-26

CTD 温-盐数据。数据的时间跨度从 1920—2005 年, 所用剖面数据均包括观测的温、盐数据。

首先, 作者对这些观测数据进行常规的水文数据质量控制(Qu, 1999), 主要包括: 对每个剖面的观测数据进行月检验、季节检验和年检验; 去除垂向分辨率过低的剖面(如上 100m 相邻两个观测深度大于 50m 的剖面); 去除那些存在明显错误的剖面(如: 温度高于 35℃ 的剖面, 水深 1000m 以深、温度高于 8℃

的剖面, 水深 100m 以深、盐度小于 30 的剖面); 通过 T-S 曲线去除那些存在明显偏离的剖面。经过质量控制后, 共得到 25620 个温-盐剖面, 春、夏、秋、冬四季分别各有 7425、7620、4970、5623 个, 站点分布情况见图 1。然后, 将这些数据按照距离反比权重的方法平均到 0.5°×0.5° 的网格点上。考虑到某些格点周围观测点较少, 采用可变的水平搜索半径, 搜索半径从 0.25° 逐渐增加, 每次增加 0.1°, 最大可增大到 4.5°,

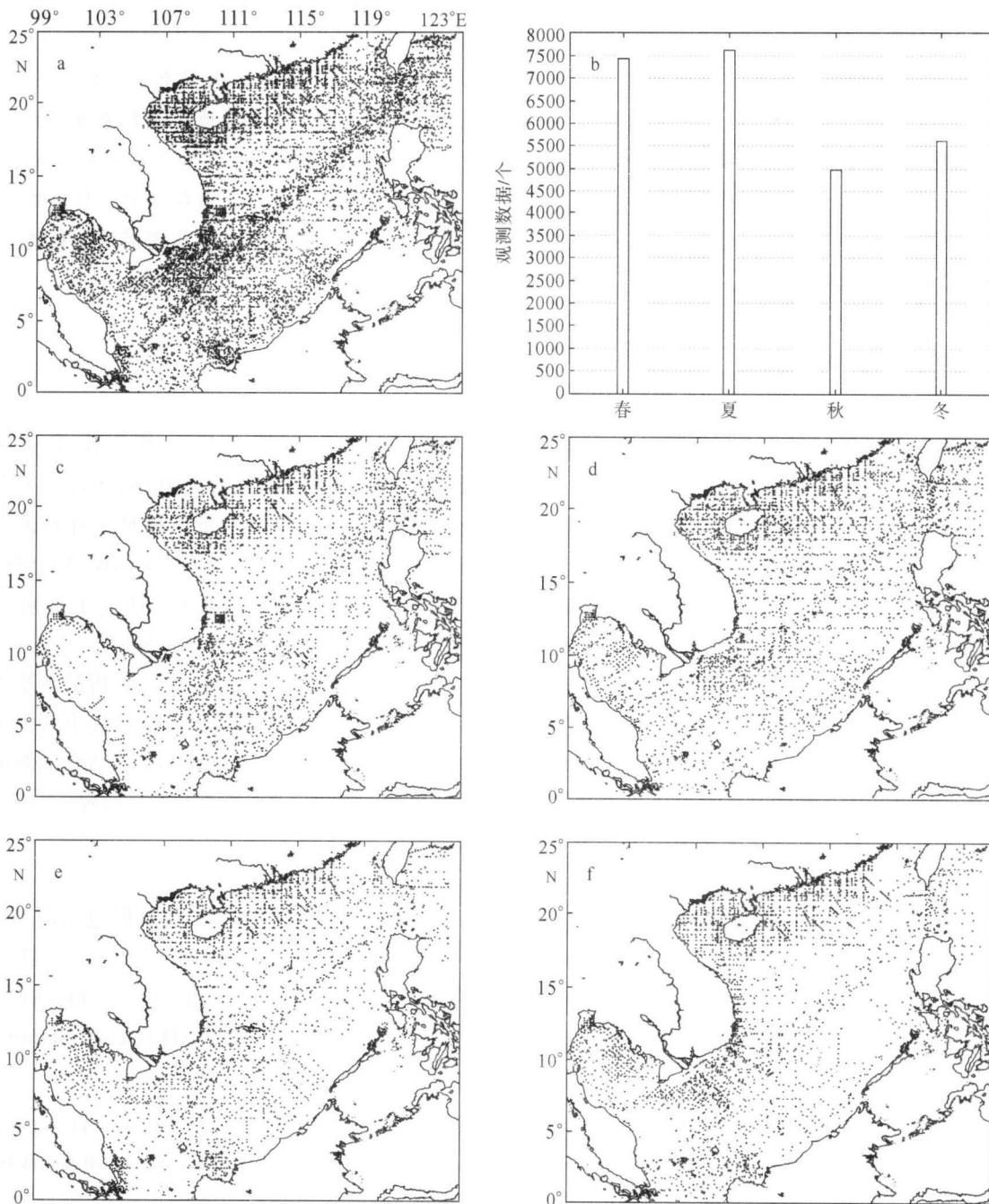


图 1 春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—2 月)四季的观测站点空间分布情况 a. 四个季节的站位; c. 春季; d. 夏季; e. 秋季; f. 冬季; b. 为各个季节的观测站点个数统计柱状图

Fig.1 Station distributions of (a) all seasons, (c) spring, (d) summer, (e) autumn, (f) winter in this study and (b) station numbers of every season

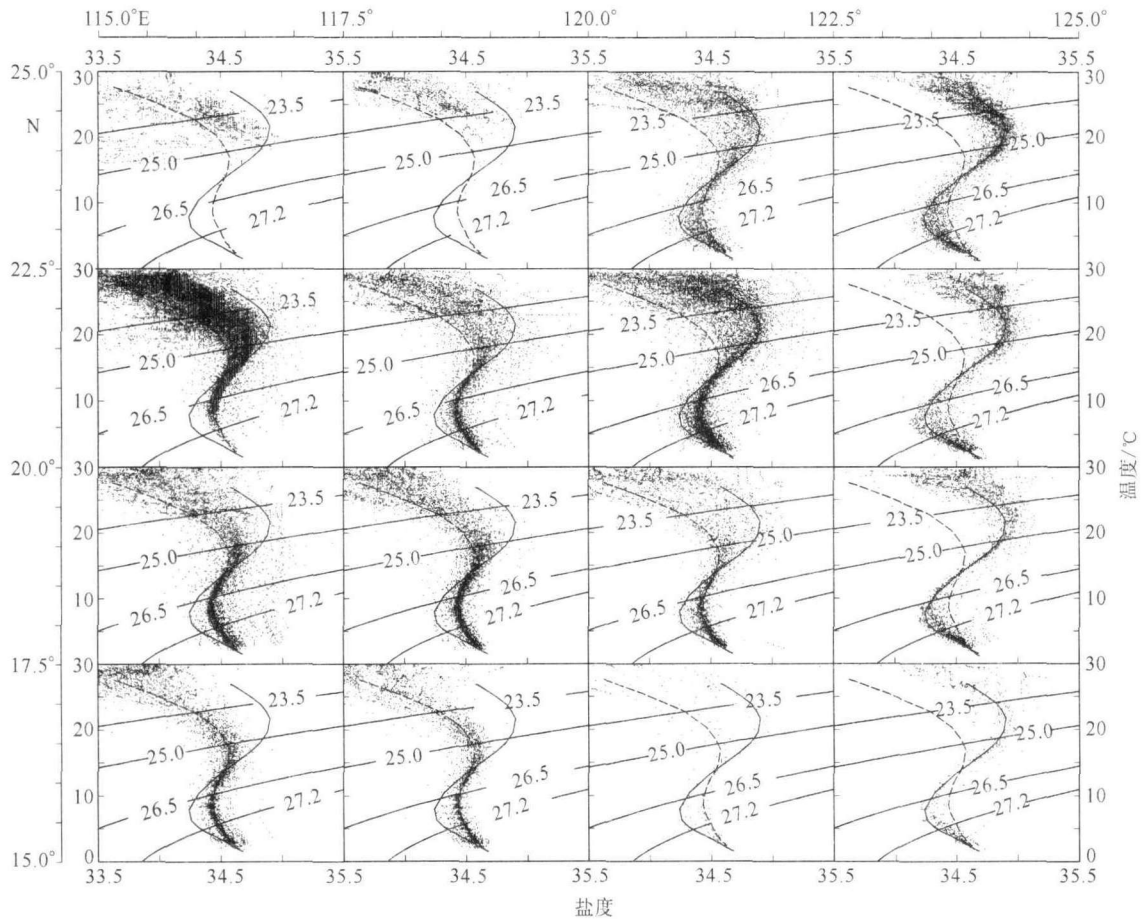


图2 温-盐点聚图。虚线代表南海水, 实线代表西北太平洋水, 等值线为位密值  
南海水和西北太平洋水的特征温-盐曲线分别由区域(110.125°—118.125°E, 11.125°—19.125°N), (123.125°—131.125°E, 17.125°—25.125°N)的温、盐数据平均得到

Fig.2 The scatter diagram of T-S and the typical T-S curve of SCS water (dashed line) and northwest Pacific water (solid line)

保证每个格点至少包含 5 个原始温-盐观测数据。对于偏离格点均值(即所谓距平值)超过三倍标准偏差的数据点, 去除该观测点后重新进行加权平均计算。最后, 对得到的格点化数据进行等权重 9 点平滑处理, 从而得到气候态年平均及季节平均的温-盐格点化数据。

## 2 次表层和中层水团

西北太平洋水进入南海后逐渐开始变性, 最终在南海内部热力和动力作用下形成具有南海特征的水体(Qu, 2002; Qu *et al*, 2006)。图 2 是将位于 115°—125°E, 15°—25°N 区域的历史温-盐数据分成 2.5° × 2.5° 的各个小区域画出的温-盐点聚图, 虚线和实线分别为典型的南海水和北太平洋水的平均温-盐特征曲线, 这两条曲线由 WOD01 年平均数据得到。从该图中可以看出, 这一区域的大部分海水特征介于南海水和北太平洋水之间, 越往东、往北的水团性质越接近太平洋水, 其中具有明显北太平洋水特征的水体位于 122.5°E 以东海域, 此区域位于太平洋海域。

117.5°E 以西, 17.5°N 以南区域的海水特征具有典型的南海水特征。图 3 可以更清楚地看出, 在上层海洋,

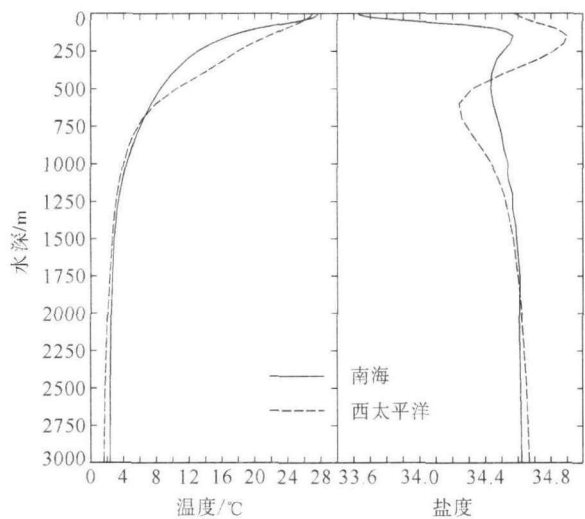


图3 南海(实线)和西太平洋(虚线)平均温度(左)和平均盐度(右)的铅直向分布图(资料来源于 WOD01 平均温、盐场)  
Fig.3 The vertical distribution of mean temperature and salinity in the SCS (solid line) and the West Pacific (dashed line). The data are the averaged temperature and salinity of WOD01

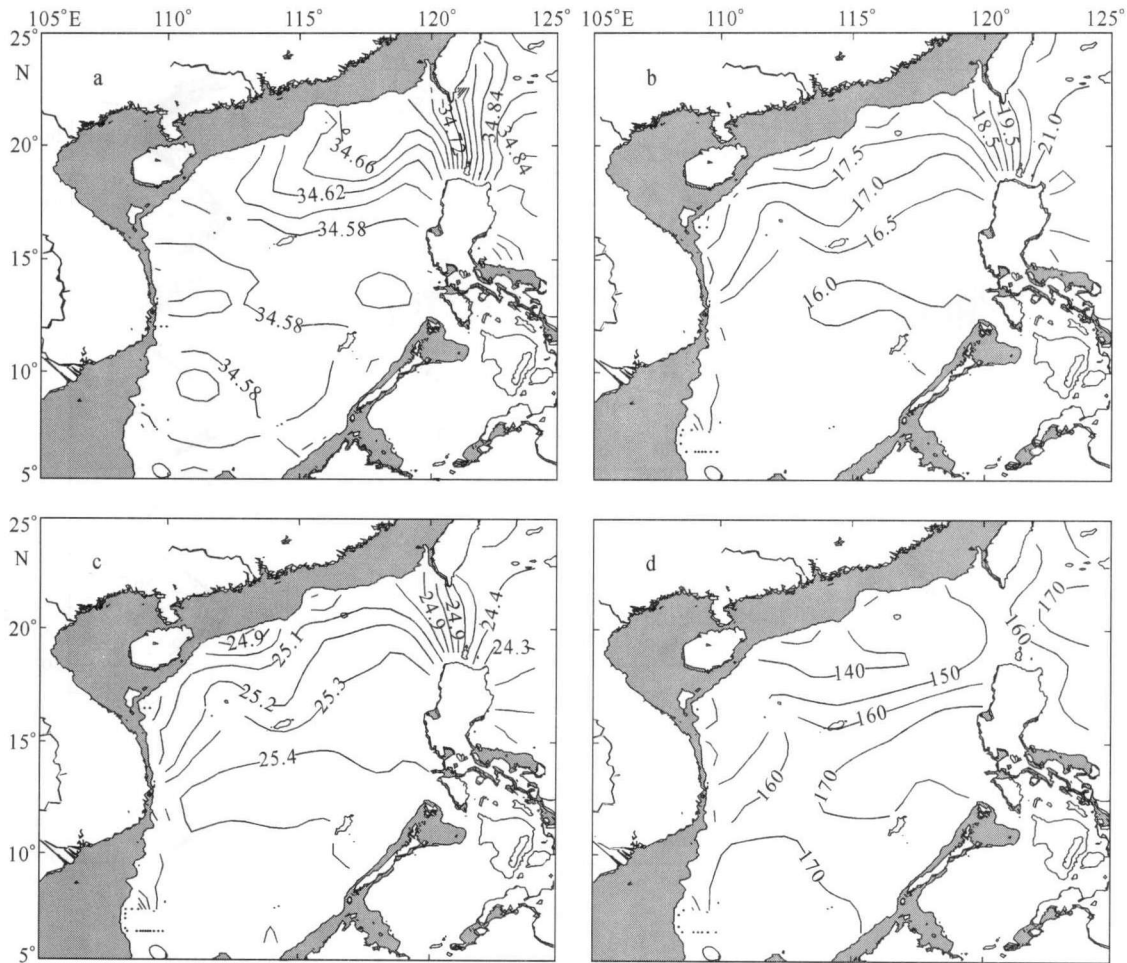


图4 气候年平均盐度极大值层的 a. 盐度; b. 温度; c. 位密( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); d. 深度分布  
灰色背景处为水深小于100m的水域

Fig.4 Climatic annual mean (a) salinity, (b) temperature in  $^{\circ}\text{C}$ , (c) potential density in  $\text{kg}/\text{m}^3$ , (d) depth in meters in the salinity maximum

西北太平洋一侧的水体盐度极大值层(最大盐度 $\geq 34.9$ )的盐度明显高于南海区域(最大盐度低于34.6);但对于盐度极小值层,北太平洋区域的盐度(最小盐度介于34.2—34.3之间)比南海区域(最小盐度值介于34.4—34.5之间)低。这表明南海这两层水体均来源于西北太平洋相应的层次,根据南海内部的混合作用理论,各水体在南海的“混砂机”作用下,典型特征减弱(Yuan, 2002)。

## 2.1 次表层水团

Qu(2000)以位密介于 $23.5\text{--}25.5\sigma_{\theta}$ 之间的盐度极大值层水体追踪北太平洋热带水(NPTW)在南海区域的分布状况。图2也可以看出,北太平洋水和南海水的盐度极大值层(次表层水的核心)的位密均介于 $23.5\text{--}25.5\sigma_{\theta}$ 之间,作者也以此密度范围内的盐度极大值所对应的各要素(温、盐、密、深度)的分布状况探讨气候年平均意义下NPTW在南海的分布特征及NPTW入侵南海的季节变化。

**2.1.1 次表层水团气候年平均特征** 一般可以认为34.6的等盐度线可以较好地代表NPTW在南海分布的情况。气候年平均盐度极大值层的盐度、温度、位势密度和深度分布显示(图4):在气候年平均意义下,34.6的盐度等值线在南海北部从吕宋海峡成舌状向西伸展进入南海 $17^{\circ}\text{N}$ 以北海域。NPTW在南海区域的位势密度大约在 $25.1\sigma_{\theta}$ ,深度范围在120—150m之间,温度大于 $17^{\circ}\text{C}$ ;NPTW在吕宋海峡东侧的位势密度小于 $24.6\sigma_{\theta}$ ,向西南呈逐渐增加的趋势,深度大约位于170m,温度大于 $20.5^{\circ}\text{C}$ ,而且吕宋海峡处的温度梯度很大。这些结果表明,NPTW能够入侵到南海北部区域,在入侵的过程中与南海水不断发生混合,从而使得盐度自海峡向西逐渐降低。

以130m深度的地转流场[400m作为流速零面(Qu *et al.*, 2000)]代表次表层流场分布(图5),可以发现较强的流速发生在吕宋海峡,流速主要为北向和西北向。海流在海峡处发生弯曲,西北向流使得一部

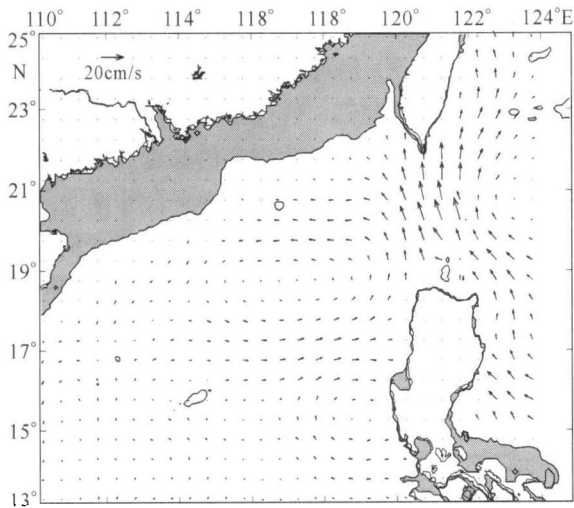


图5 气候年平均130m层(相对于400m零位势面)的地转流分布(灰色背景处为水深小于100m的水域)

Fig.5 Climatic annual mean geostrophic velocity at 130 m relative to 400m

分太平洋水从吕宋海峡进入南海, 沿大陆坡向西运动, 从而在南海内部则形成一个气旋式涡旋, 核心位置与 Qu (2000)提出的西吕宋涡旋的位置大体一致, 这一环流结构使得北太平洋的高盐水得以进入南海,

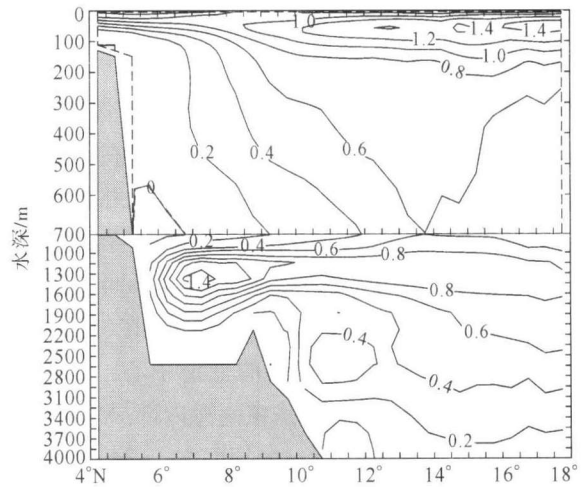


图6 SODA得到的南海气候年平均经向翻转流函数(单位: Sv, 1Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s)

Fig.6 Climatic annual mean meridional overturning stream function calculated from SODA data (unit: Sv, 1Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s)

从而形成了上面提到的大于 34.6 的高盐水体呈舌状向西伸展进入南海的形态。气候年平均意义下的高盐水体在吕宋海峡成舌状向西伸展还可能与气候年平均意义下的南海经向翻转环流(王东晓等, 2004)(图6)存在一定的联系。从图6可以看出, 在盐度极大值层

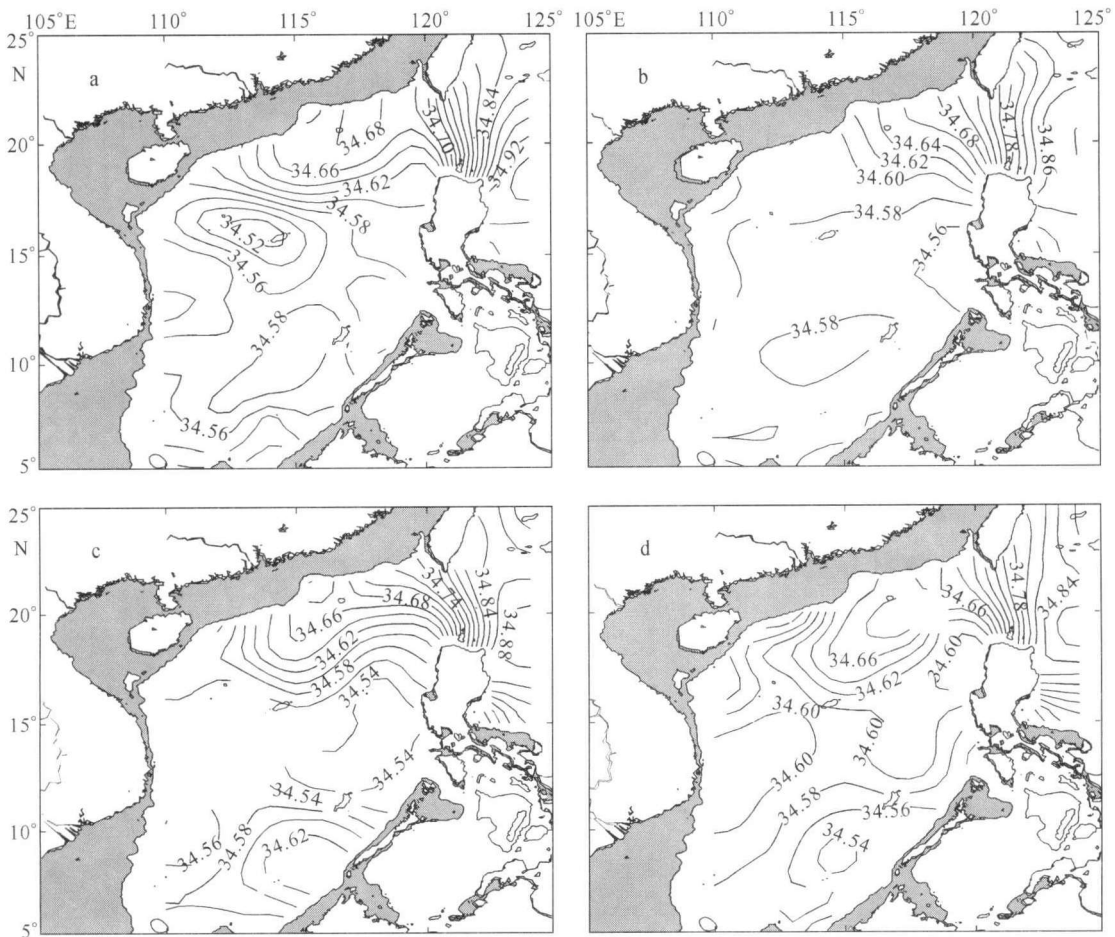


图7 盐度极大值层的盐度分布的季节变化(灰色背景处为水深小于100m的水域)

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

Fig.7 Seasonal variation of salinity in the salinity maximum

深度范围内, 经向翻转环流是从北向南运动的, 这有利于 NPTW 在南海的入侵。

**2.1.2 次表层水团的季节变化特征** 季节平均盐度极大值层的盐度分布显示, 各个季节在吕宋海峡附近的盐度等值线均向南海区域弯曲, 并且盐度均大于 34.60(图 7)。这表明在南海整年均存在北太平洋高盐水的入侵, 但各个季节的入侵强度不同。春季, 在 17°N 以南的盐度值均小于 34.58, 而且在 14°—17°N 之间存在一个盐度相对较低的低值中心, 最低盐度为 34.52, 很明显这些水体是在南海内部局地生成的。沿中国南部大陆坡, 存在一个盐度大于 34.60 的高盐度带, 并与太平洋相连, 且在东北部还存在 34.68 的高盐度舌, 说明这些水体来自北太平洋, 在向南海入侵的过程中不断与南海内部的相对较低盐度的水体混合, 从而使得盐度逐渐降低。夏季, 盐度大于 34.60 的水体在南海区域仅存在于南海的东北部, 局限在 115°E 以东, 18°N 以北海域, 这可能与夏季南海被西南季风所控制有较大关系, 从南部卡里曼丹海峡进

入南海的入流阻止了北部吕宋海峡处 NPTW 高盐度水体的侵入。秋季, 仍可清晰地看到盐度大于 34.60 的水体存在于南海北部。值得注意的是, 在南海西南部存在一个以 115°E, 8°N 为中心的盐度大于 34.60 的相对高盐中心, 这部分水体有可能来自苏禄海, 具体的原因还需更多的观测资料分析来进一步研究。冬季, 南海北部受强劲的东北季风作用, 北太平洋水的入侵程度最强, 在 110°E, 10°N—120°E, 15°N 以北的整个区域的盐度均大于 34.60, 34.68 的高盐舌也向南海内部伸展得最为明显。此时, 118°E, 20°N 附近南海区域的等盐度线与北太平洋断裂, 这有可能是由于历史观测数据的空间分布情况所造成的。

北太平洋水在次表层入侵南海强度的季节变化, 与对应的季节平均地转流场和南海经向翻转环流之间存在比较密切的联系。从吕宋海峡附近的次表层季节平均地转流场(图 8)可以看出, 在一定程度上, 各个季节都有北太平洋水从吕宋海峡进入南海, 其中冬季的入流最强。此强流从海峡进入南海后沿着中国

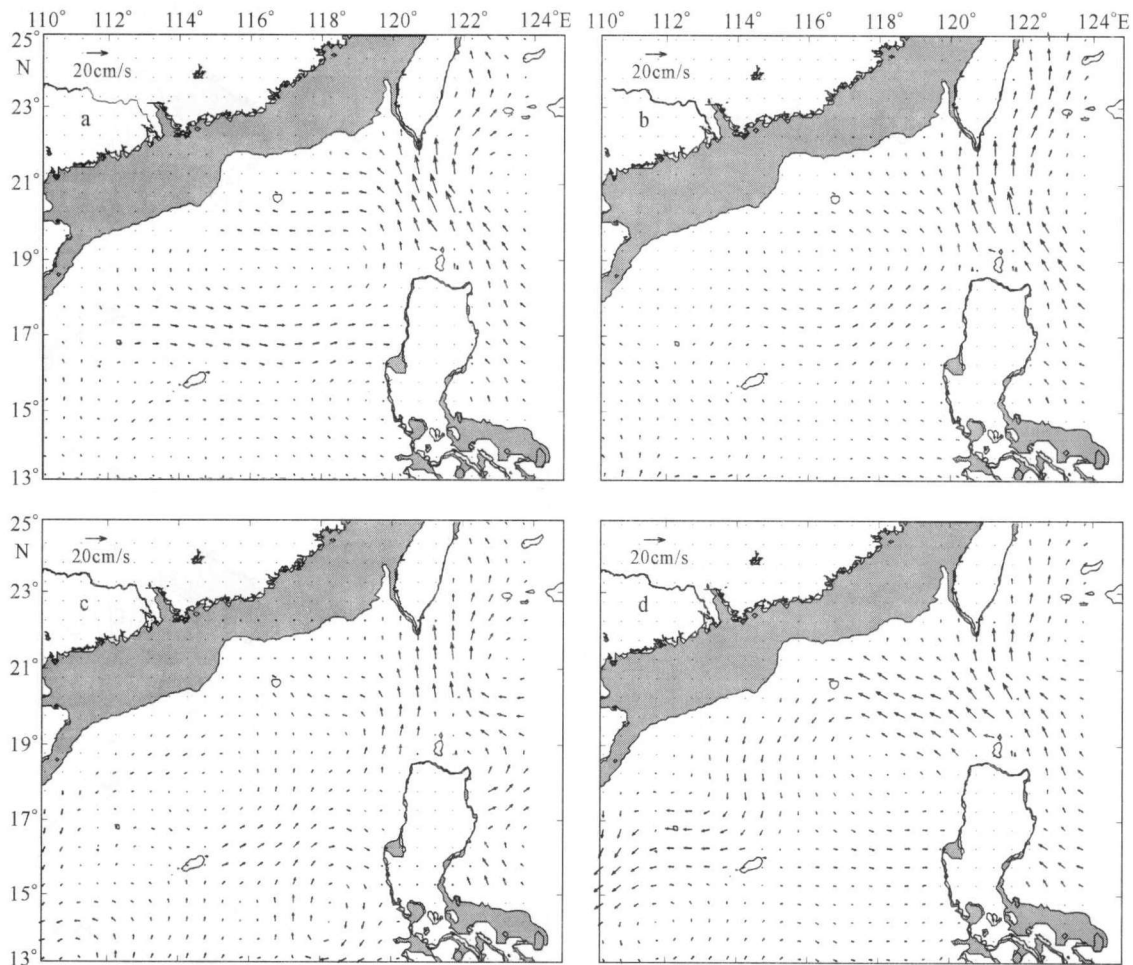


图 8 季节平均 130m 深度的地转流场(相对于 400m 零位势面)

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

Fig.8 Seasonal variation of geostrophic velocity at 130 m relative to 400m



大陆南部海域的大陆坡深入南海腹地,并在海峡西侧形成一个显著的气旋式涡旋(即屡见报道的西吕宋冷涡)。冬季该气旋式冷涡发展得比较深厚,这有利于北太平洋次表层的高盐水体入侵南海。120.25°E 经向断面的纬向流速垂向分布也显示该流在冬季为很强的西向流(图略)。此外,南海经向翻转流函数显示(图 9): 冬季,在次表层深度范围内有很强的南向运动。这一翻转形态与地转流场均有利于北太平洋次表层高盐水体的入侵,从而导致冬季南海海域的大片区域被北太平洋高盐水所占据。夏季,次表层地转流虽然有一部分从吕宋海峡进入南海,但经向翻转在次表层深度范围内表现为较强的北向运动,这一运动形态不利于北太平洋水入侵南海,使得北太平洋水的入侵在四个季节中最弱。秋季,虽然几乎没有地转流从北太平洋经吕宋海峡进入南海,但经向翻转环流在次表层深度范围内有很强的南向运动,从而使得北太平洋水在南海也有一定程度上的入侵。春季,虽然经向翻转环流在次表层深度范围内的南向运动

较弱,但有较强的地转流从北太平洋经吕宋海峡进入南海,因而春季期间北太平洋水也占据了南海北部不小的一块区域。

## 2.2 中层水团

根据 Qu 等(2000)将位势密度介于 26.5—27.0  $\sigma_\theta$  范围内的盐度极小值层定义为北太平洋中层水(NPIW)。此密度范围内的盐度极小值层所对应的各要素(温、盐、密、深度)的分布状况,可以体现气候年平均意义下 NPIW 在南海的分布特征及 NPIW 入侵南海的季节变化。

**2.2.1 中层水团气候态分布特征** 由于 NPIW 在入侵南海的过程中会与南海内部的相对高盐的水体发生混合,从而使入侵水体的盐度增加,这里作者取 34.42 的盐度等值线作为入侵水与南海水的分界线,以 34.42 的等盐度线表示 NPIW 在南海区域的分布情况(Qu, 1999)。气候年平均盐度极小值层的盐度、温度、位势密度和深度分布图(图 10)显示,气候年平均意义下, NPIW 在南海区域的分布仅局限在吕宋海峡

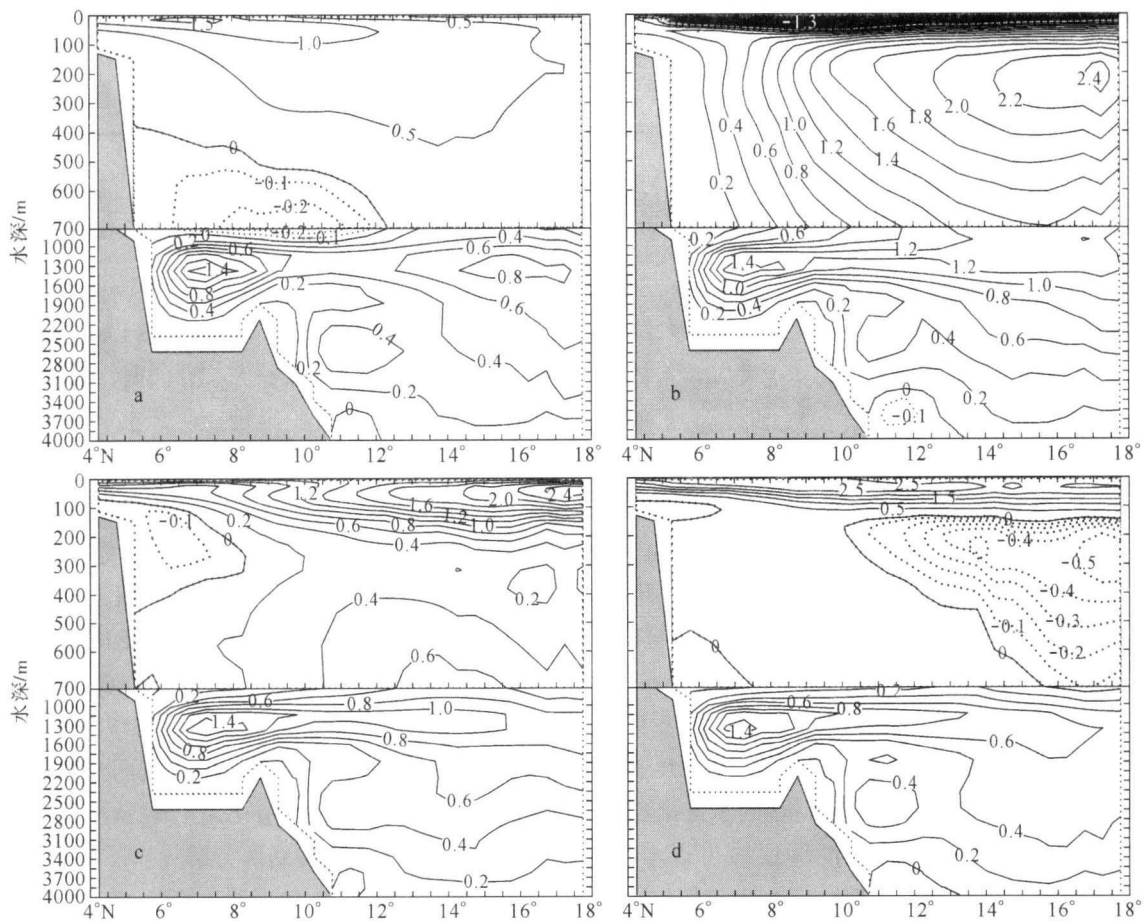


图 9 SODA 得到的南海气候态季节平均经向翻转流函数(单位: Sv)

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

Fig.9 Seasonal variation of meridional overturning stream function calculated from SODA data (unit: Sv, 1Sv =  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ )

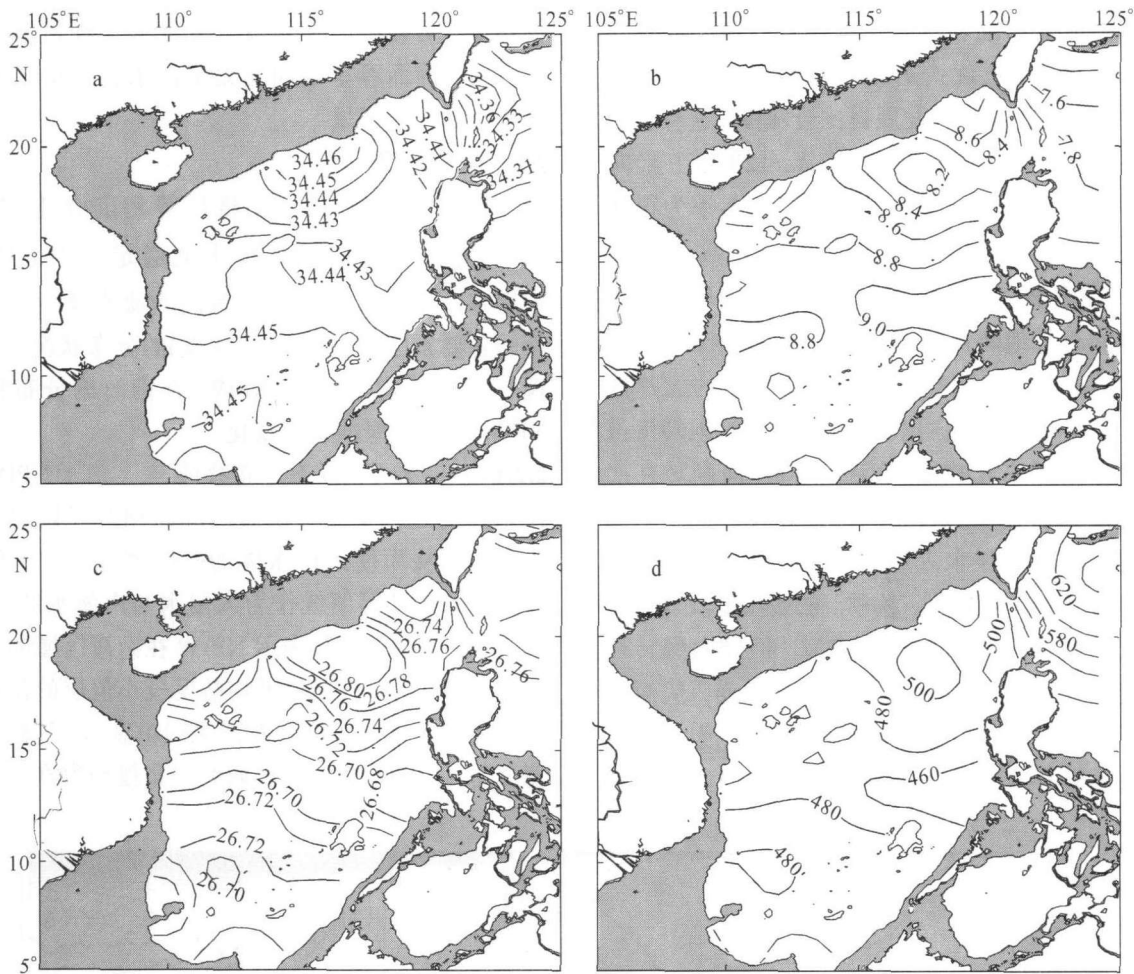


图 10 气候年平均盐度极小值层的盐度(a)、温度(b)、位密(c)、深度(d)分布(灰色背景处为水深小于 500m 的水域)  
 Fig.10 Climatic annual mean salinity (a), temperature in °C(b), potential density in kg/m<sup>3</sup>(c), depth(d) in meters in the salinity minimum

附近很小的区域内,在南海区域的位势密度大约在 26.73  $\sigma_\theta$ ,深度在 480—500m 之间,吕宋海峡东侧的盐度明显小于南海内部的盐度,所处深度大约在 600m,温度也明显低于南海内部的温度,在 7.6—7.8°C 之间。NPIW 在南海区域的入侵范围很小,与 500m 左右的范围内为较弱的南向运动有关(图 6)。  
**2.2.2 中层水团的季节变化特征** 盐度极小值层的盐度分布情况可以用来追踪 NPIW 在南海的随季节变化特征。季节平均盐度极小值层的盐度分布(图 11)显示,吕宋海峡处的盐度梯度常年较大,这表明海峡处的水团性质对比比较明显,南海水与北太平洋水在此处交汇。春季,盐度低于 34.40 的水体出现在越南东北海域,从 34.42 的盐度等值线可以看出,NPIW 在春季有一定程度的入侵;在 500m 左右深度内经向翻转环流为南向运动,从而有利于北太平洋中层水的入侵(图 9)。夏季,34.42 的盐度等值线基本上向东撤至吕宋海峡附近,南海内部的水体性质较

为均一,盐度值均介于 34.42—34.44 之间。秋季,34.42 的盐度等值线继续东撤,同时,盐度高于 34.45 的水体在南海大面积出现,在卡里曼丹和巴拉望岛附近还出现了 34.50 的盐度高值区。冬季,整个南海几乎被强劲的东北季风所控制,除了台湾西南部很小一块区域以外,整个南海的盐度基本上均大于 34.44,达到了四个季节中的最大值,这可能与强劲东北季风作用导致的深层水涌升使得深层盐度较大水体的上涌有较大关系。冬季,NPIW 几乎没有入侵南海以及春、夏季入侵相对较强的现象,这可能与以前研究中提到的 NPIW 和 NPIW 这两个水团的运动位相不一致有关。此外,作者还可以从季节平均的南海经向翻转环流结构得到部分解释。从季节平均南海经向翻转流函数图(图 9)表明:冬季,在 300—700m 左右的范围内为北向运动,遏制了 NPIW 的入侵,而春、夏季节,在此深度范围内为南向运动,有利于 NPIW 的入侵。



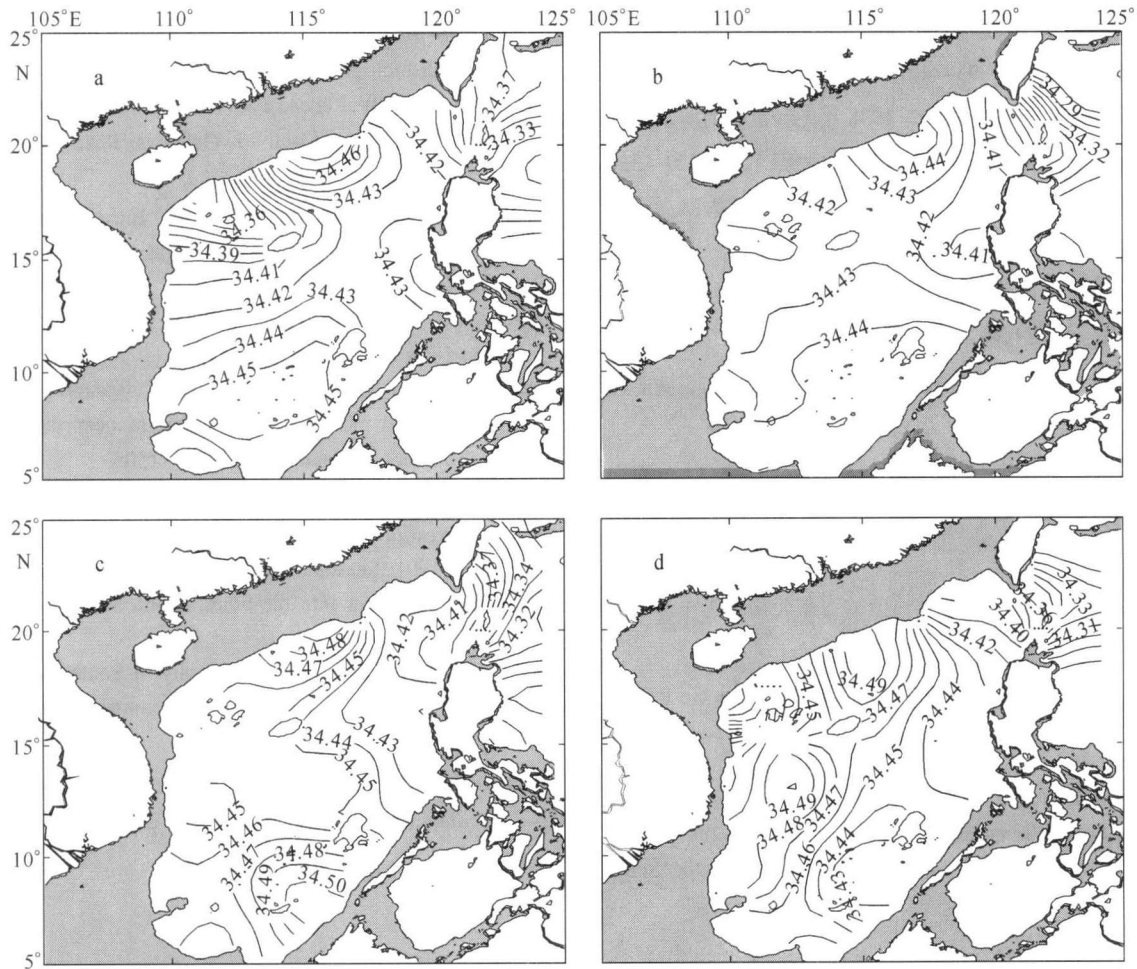


图 11 盐度极小值层的盐度分布的季节变化(灰色背景处为水深小于 500m 的水域)

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

Fig.11 Seasonal variation of salinity in the salinity minimum

### 3 结论与讨论

本文中作者主要通过盐度极大值层和极小值层的盐度等要素的分布情况研究了气候年平均和季节平均意义下北太平洋水在南海次表层和中层的入侵情况, 得出以下主要结论: 气候年平均意义下, NPTW 入侵到南海北部区域, 在南海的位势密度大约在  $25.1 \sigma_{\theta}$ , 深度在 120—150m 之间; NPIW 在南海区域仅局限在吕宋海峡附近很小的区域内, 在南海的位势密度大约在  $26.73 \sigma_{\theta}$ , 深度在 480—500m。NPTW 和 NPIW 入侵南海存在较大的季节变化, NPTW 在冬季入侵南海最强, 而夏季仅局限在  $115^{\circ}\text{E}$  以东,  $18^{\circ}\text{N}$  以北海域; NPIW 在春季有一定程度的入侵, 但随后逐渐东撤, 在东北季风最强盛的冬季 NPIW 的入侵程度反而最弱, 而且整个南海海域的盐度达到四季中的最大值。

NPTW 入侵南海的季节变化特征, 可以通过次表层地转流场和季节平均的南海经向翻转流函数得

到一定的解释。冬季, 次表层的地转流场和南向运动的经向翻转环流均有利于北太平洋次表层水的入侵; 而夏季, 次表层北向运动的经向翻转环流结构阻碍了北太平洋次表层水的入侵。NPIW 冬季入侵南海比较微弱可能源于此时南海经向翻转流在中层水深度范围内的北向运动的阻碍作用。北太平洋水在南海的入侵还可能与南海内部海气相互作用等因素有关, 在以后的研究中将会进一步探讨。

### 参 考 文 献

- 仇德忠, 杨天鸿, 郭忠信, 1984. 夏季南海北部一支向西流动的海流. 热带海洋, 3(4): 65—73
- 王东晓, 刘雄斌, 王文质等, 2004. 理想海底地形的南海海洋经向翻转数值模拟. 科学通报, 49(5): 480—486
- 刘秦玉, 杨海军, 李 薇, 2000. 吕宋海峡纬向海流及质量输运. 海洋学报, 22(2): 1—8
- 刘增宏, 李 磊, 许建平, 2001. 侍茂崇, 1998 年夏季南海水团分析. 东海海洋, 2001, 19(3): 1—10

- 李磊, 李凤岐, 苏洁等, 2002. 1998年夏、冬季南海水团分析. 海洋与湖沼, 33(4): 393—401
- 李凤岐, 李磊, 王秀芹等, 2002. 1998年冬、夏季南海水团及其与太平洋的水交换. 青岛海洋大学学报, 32(3): 329—336
- 李燕初, 李立, 靖春生等, 2004. 南海东北部海域海面高度的时空变化特征. 科学通报, 49(7): 702—709
- 赵伟, 侯一筠, 乐肯堂等, 2007. 吕宋海峡水交换季节变化的数值研究. 海洋与湖沼, 38(6): 496—504
- 郭忠信, 杨天鸿, 仇德忠, 1985. 冬季南海暖流及其右侧的西南向海流. 热带海洋, 4(1): 1—9
- 徐锡桢, 邱章, 陈惠昌, 1982. 南海水平环流概述. 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议论文集. 北京: 科学出版社, 127—145
- 黄企洲, 郑有任, 1996. 1992年3月南海东北部和巴士海峡的海流. 中国海洋学文集, 6: 42—51
- Chu T Y, 1972. A study of water exchange between the Pacific Ocean and the South China Sea. *Acta Oceanogr Taiwanica*, 2: 11—24
- Farris A, Wimbush M, 1996. Wind-Induced Kuroshio Intrusion into the South China Sea. *J Oceanogr*, 52: 771—784
- Qu T, 2002. Evidence for water exchange between the South China Sea and the Pacific Ocean through the Luzon Strait. *Acta Oceanologica Sinica*, 21(2): 175—185
- Qu T, Girton J B, Whitehead J A *et al*, 2006. Deepwater overflow through Luzon Strait. *J Geophys Res*, 111, C01002, doi:10.1029/2005JC003139
- Qu T, Mitsudera H, Yamagata T, 2000. Intrusion of the North Pacific waters into the South China Sea. *J Geophys Res*, 105(C3): 6415—6424
- Qu T, 2000. Upper layer circulation in the South China Sea. *J Phys Oceanogr*, 30: 1450—1460
- Qu T, Mitsudera H, Yamagata T, 1999. A climatology of the circulation and Water Mass distribution near the Philippine Coast. *J Phys Oceanogr*, 29: 1488—1505
- Shaw P-T, 1989. The intrusion of water masses into the sea southwest of Taiwan. *J Geophys Res*, 94: 18213—18226
- Shaw P-T, 1991. Seasonal variation of the intrusion of the Philippine sea water into the South China Sea. *J Geophys Res*, 96: 821—827
- Wyrtki K, 1961. Physical oceanography of Southeast Asian waters. NAGA Report, Scripps Inst Oceanogr, La Jolla, Calif, 2: 1—195
- Yuan D, 2002. A numerical study of the South China Sea deep circulation and its relation to the Luzon Strait transport. *AOS*, 21(2): 187—202

## SEASONAL VARIATION OF SUBSURFACE AND INTERMEDIATE WATER MASSES IN THE SOUTH CHINA SEA

LIU Chang-Jian<sup>1,2</sup>, DU Yan<sup>1,3</sup>, ZHANG Qing-Rong<sup>1</sup>, WANG Dong-Xiao<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Tropical Marine Environment Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301; 2. South China Sea Marine Engineering Surveying Center, State Oceanic Administration, Guangzhou, 510300; 3. International Pacific Research Center, SOEST, University of Hawaii, Honolulu, USA)

**Abstract** The intrusion of North Pacific Water into the South China Sea (SCS) through the Luzon Strait has a great impact on the SCS circulation and water renewal. Historical in-situ data of temperature and salinity were used to analyze the intrusion. Results demonstrate that the intrusion happens all year-round through the Luzon Strait in the salinity maximum layer and varies in season significantly, with the maximum in winter when northeastern monsoon prevails. The seasonal variation of the North Pacific Tropical Water (NPTW) has a close relationship with geostrophic current in the subsurface and with the structure of the SCS Meridional Overturning. The North Pacific Intermediate Water (NPIW), with salinity minimum, also enters the SCS through the Luzon Strait, but its seasonal variation is completely out of phase with that of the NPTW. The intrusion of the NPIW into the SCS is the weakest in winter due to northward movement of the SCS Meridional Overturning in intermediate depth. The intrusion mechanism of North Pacific Water into the SCS can be interpreted mostly by the movement of the geostrophic current and Meridional Overturning in the SCS.

**Key words** SCS Water Mass, Geostrophic current, Meridional overturning