第 43 卷 第 6 期
2013 年 6 月

中国海洋大学学报
PERIODICAL OF OCEAN UNIVERSITY OF CHINA

43(6):009～016
Jun., 2013

吕宋海峡以东海洋涡旋对黑潮及南海的影响*

沈 辉[1]，贾英来[1]，张 笑[1,2]，刘秦玉[1]，陈隆京[1]

(1. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室，海洋-大气相互作用实验室，山东 青岛 266100；
2. 中国太原卫星发射中心气象台，山西 太原 030000)

摘 要： 利用 HYCOM 全球同化数据和 ARGO 浮标数据，分析了吕宋海峡东西两侧海水温盐特性的差异，探讨了吕宋海峡以东的海洋涡旋在西移过程中是否能够穿越黑潮对南海局地水的温盐特性产生影响。通过分析吕宋海峡东西两侧的温盐特性发现，在气候平均态下，跨越黑潮流轴的温度梯度具有冬天弱夏天强的特征，并且吕宋海峡东侧和南海北部的温盐特性之间存在较大差异，可见吕宋海峡以东的海水温盐特性并不能被传递到南海北部。吕宋海峡以东，在采用 HYCOM 资料期间(2003—2009 年)，本文共检测到反气旋涡 24 个和气旋涡 39 个，仅有一例气旋涡进入南海。其中反气旋涡多沿 22°N 以北西移，在到达黑潮后被黑潮平流向北，沿 22°N 以南西移的反气旋涡，多在遇到巴布延群岛后迅速耗散衰减，不能通过吕宋海峡进入南海。出现在 21°N 以南气旋涡多于反气旋涡，在遇到巴布延群岛及黑潮后，也会衰减或随黑潮平流向北。2003—2009 年，仅有一例气旋涡能够引起黑潮主轴弯曲，穿过黑潮并到达南海北部的个例。但在该气旋涡中，仅 4%的水质点跟随其进入南海，且其温盐特性在进入南海后迅速改变为南海局地特性，因此该气旋涡对南海北部海水团的性质影响非常有限。

关键词： 吕宋海峡；黑潮；南海；涡旋；温盐特性

中图法分类号： P731.27 **文献标志码：** A **文章编号：** 1672-5174(2013)06-009-09

吕宋海峡是南海和西太平洋水体相互连接的重要通道，同时黑潮作为西边界流在吕宋海峡处会发生形变，并有反气旋涡从中脱落[1]。吕宋海峡以东海洋涡旋因 β 作用西移，并和黑潮发生相互作用，影响黑潮的流速及形态。但是关于吕宋海峡以东的海洋涡旋能否穿越黑潮，影响到南海，仍众说纷纭。Li 等[2] 通过对 T/P 海平面高度异常(SSHA)数据的时间序列进行谱分析发现，认为西传的 Rossby 波不能穿过黑潮，黑潮是其活动边界，黑潮会以其自己的方式影响南海，而南海是 1 个相对独立的系统。袁东亮和李锐祥[3] 通过使用一层半约化重力准地转模式研究认为西边界流较强时，跨隙的西边界流会阻挡中尺度涡旋在缺口处的向西传播。Sheu et al.[4] 利用 POM 海洋模式进行数值试验，认为黑潮在吕宋海峡处的锋面构成位涡障碍，该障碍在冬季风的影响下较弱，有涡旋能进入南海。Zheng et al[5] 利用卫星高度计海平面资料分析认为半径超过 150km 的涡旋进入南海的可能性为 60%。Liu 等[6] 和马超等[7] 研究表明，表层漂流浮标仅在秋冬季进入，且数量仅占总数的比重很小。Zheng et al[8] 利用 ARGOS 表层漂流浮标轨迹数据研究表明有表层流会直接进入南海。HU 和 HOU[9] 利用一层半模式研究表明中尺度涡旋会通过滞后效应使黑潮的流型发生改变。Chen et al[10] 利用 CTD 资料和卫星高度计资料发现 1 次黑潮入侵事件，并利用一层半模式研究表明这次入侵主要是由黑潮东侧气旋涡诱发的。涡旋能否携带西太平洋的水穿过黑潮进入南海，影响南海水的温盐特性仍不清楚。Shaw[11] 通过温盐分析发现，在冬季南海北部有一西向流的水团性质属于菲律宾海的性质。黄志达和胡建宇[12] 利用 ARGO 浮标资料，表明秋季吕宋海峡两侧水文特性差异较大，121°E 以东水体明显高温高盐，且水团特性较一致，121°E 以西水体温盐特性较分散，一部分水团特性接近西太水团特性，一部分接近南海水。

综上所述，从 Rossby 波的角度看，黑潮是其活动边界，由于位涡屏障作用，波动不能穿越黑潮；从涡旋的角度看，黑潮仍起着屏障的作用，在黑潮平均流弱时，涡旋可能穿越黑潮进入南海；从吕宋海峡西侧的水团性质看，尽管吕宋海峡西侧存在部分具有黑潮性质的水，但是因该处存在反气旋涡脱落现象，该部分具有黑潮性质的水也有可能是反气旋涡脱落造成的。本文将利用 HYCOM 全球同化数据集内的海平面高度、温度、盐度及流场资料，结合 ARGO 浮标资料，分析吕宋

* 基金项目：国家重点基础研究发展规划项目(G 2012CB417401)；国家重点基础研究发展规划项目(G2010CB428904)；国家自然科学基金项目(41176004)资助

收稿日期：2012-04-17；修订日期：2012-06-01

作者简介：沈辉(1987-)，男，硕士生。E-mail：shenhui@ouc.edu.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

海峡两侧水团特征，再对吕宋海峡以东海洋涡旋进行追踪，分析其与黑潮的相互作用，最后通过2个影响黑潮及南海的吕宋以东的涡旋个例，探讨吕宋以东的海洋涡旋能否穿越黑潮并对南海局地温盐性质产生影响。

1 数据与方法

1.1 数据

本文采用HYCOM全球同化数据和ARGO资料，其中HYCOM全球同化数据为2003年11月～2009年10月的日平均数据，数据包含海平面高度，0～700 m各标准层的流速、温度和盐度。水平分辨率是1/12(°)×1/12(°)[13]。本文研究的范围是我国南海海域、吕宋海峡以及吕宋海峡以东的区域，范围为116°E～127°E，18°N～26°N。Jia and Chassignet[1]指出HYCOM的海平面高度(SSH)和卫星高度计的SSH在吕宋海峡附近达相关系数0.7以上，所以认为HYCOM全球同化数据能真实反映吕宋海峡附近SSH的分布及变化，同时因HYCOM数据时间、空间分辨率均较高，且包含温、盐、流场数据，因此采用HYCOM数据。本文所使用的ARGO资料来自ARGO国际项目主页(http://www.argo.net/)，时间从2002年9月～2011年7月，区域为116°E～127°E和18°N～26°N。共有87个浮标2 785个剖面，由于本文涉及区域ARGO盐度数据误差较大，且剖面较少，ARGO盐度数据未采用，其观测位置如图1所示。

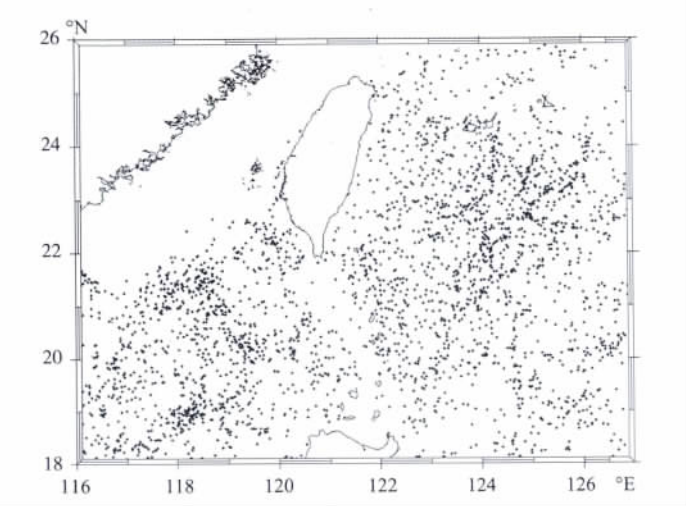


图1 吕宋海峡附近ARGO观测剖面分布

Fig.1 Distribution of ARGO observation profile around the Luzon Strait

1.2 涡旋追踪方法

本文采用海平面高度极值中心法，结合Okubo-Weiss数确定吕宋以东的海洋涡旋的中心位置，并追踪其移动轨迹。Okubo[14]和Weiss[15]提出了Okubo-Weiss函数q，可以用来鉴别涡的结构，当$q>0$时，流场以形变为主；当$q<0$时，流体以旋转为主。在实际应用中，通常取一参数q_0，q_0为$0.2\delta q$，δq为全区q的标准差。用q/q_0的分布来表示流场的特性。当$q/q_0<-1$时，该区域环流以涡旋为主；$q/q_0>1$时，以变形为主；$-1<q/q_0<1$时，为背景场[16]。为确定涡旋中心位置，本文先根据SSH局地极值初步确定涡旋中心位置，再根据涡旋中心附近100 km范围内是否包含OW数$q<-1$的区域最终确定涡旋中心位置。根据已确定的涡旋中心位置，考察相邻2个时刻涡旋中心位置之间的距离，相距最近且距离小于80 km视为同1个涡旋。

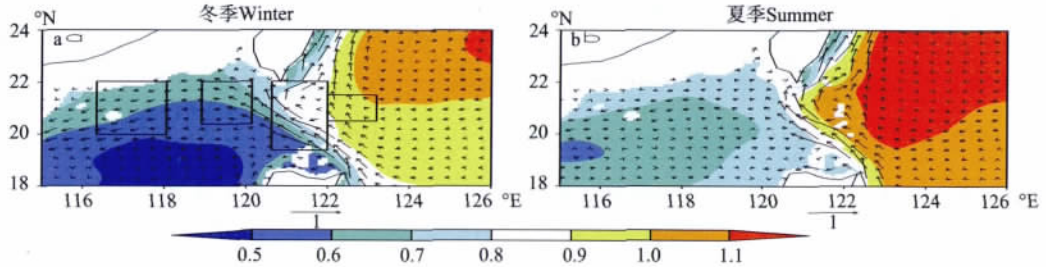
1.3 涡旋内部粒子追踪方法

本文采用龙格－库塔(Runge-Kutta)法追踪涡旋内部的流体粒子，考察其能否进入南海。其中龙格－库塔法参考George[17]经典的龙格库塔法对涡旋内部的流体粒子进行追踪，$x_{i+1}=x_i+u_it$，x方向的下1个位置x_{i+1}由现在的位置x_i加上时间间隔t和该时刻速度u_i的乘积决定。在y方向同理可得$y_{i+1}=y_i+v_it$。

2 气候平均态下吕宋海峡两侧的温盐特性

为考察吕宋海峡以东海水温盐特性能否对南海产生影响，利用HYCOM全球同化结果，结合ARGO浮标资料分析了气候平均态下吕宋海峡东西两侧的水团特性。从气候态的海平面高度场和100 m流场(见图2)可以看出，在吕宋海峡处冬天黑潮流轴的位置明显比夏天要偏西0.2°。为了进一步了解黑潮流轴在吕宋海峡处的特性，图3给出了沿21°N的温度垂直剖面以及温度纬向梯度(阴影)，温度纬向梯度大值区中心(主轴位置)冬天在121°E以东，而夏天在121°E以西，同时大值区域的最大值冬天明显要比夏天大，夏天纬向梯度的最大值为1.24×10^{-4}℃/m，而冬天只有3.84×10^{-5}℃/m。表明黑潮流轴的强度夏天强于冬天。图3说明冬季黑潮流轴区域温跃层水平梯度较弱，且主轴位置较夏季偏西，显示黑潮流轴形成的位涡障碍在冬季弱。这与Sheu et al.[4]的结果是一致的。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)冬季(12，1，2 月份)；b)夏季(7，8，9 月份)。a) Winter(December，January，February)；b)Summer(July，August，September).)

图 2　平均海平面高度(阴影，m)和 100m 流场(箭头，m)HYCOM 数据分布图

Fig. 2　Distribution of the mean SSH(in shaded，m)and 100m velocity field(in vector，m) based on HYCOM data

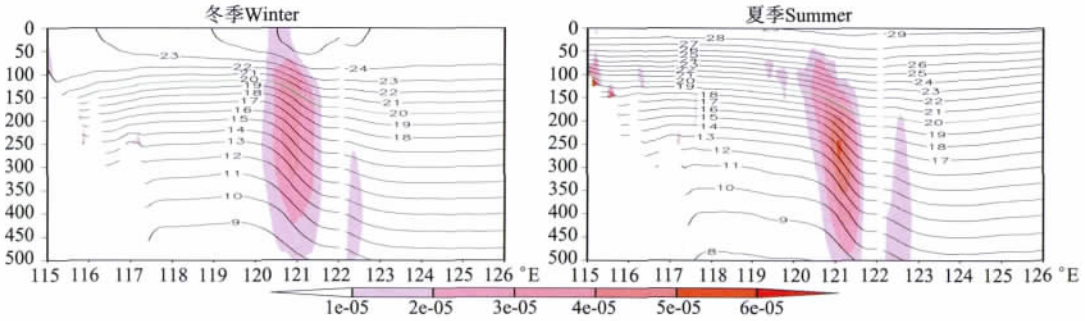


图 3　沿 21°N 的垂直温度剖面和温度水平梯度(阴影)HYCOM 数据分布图

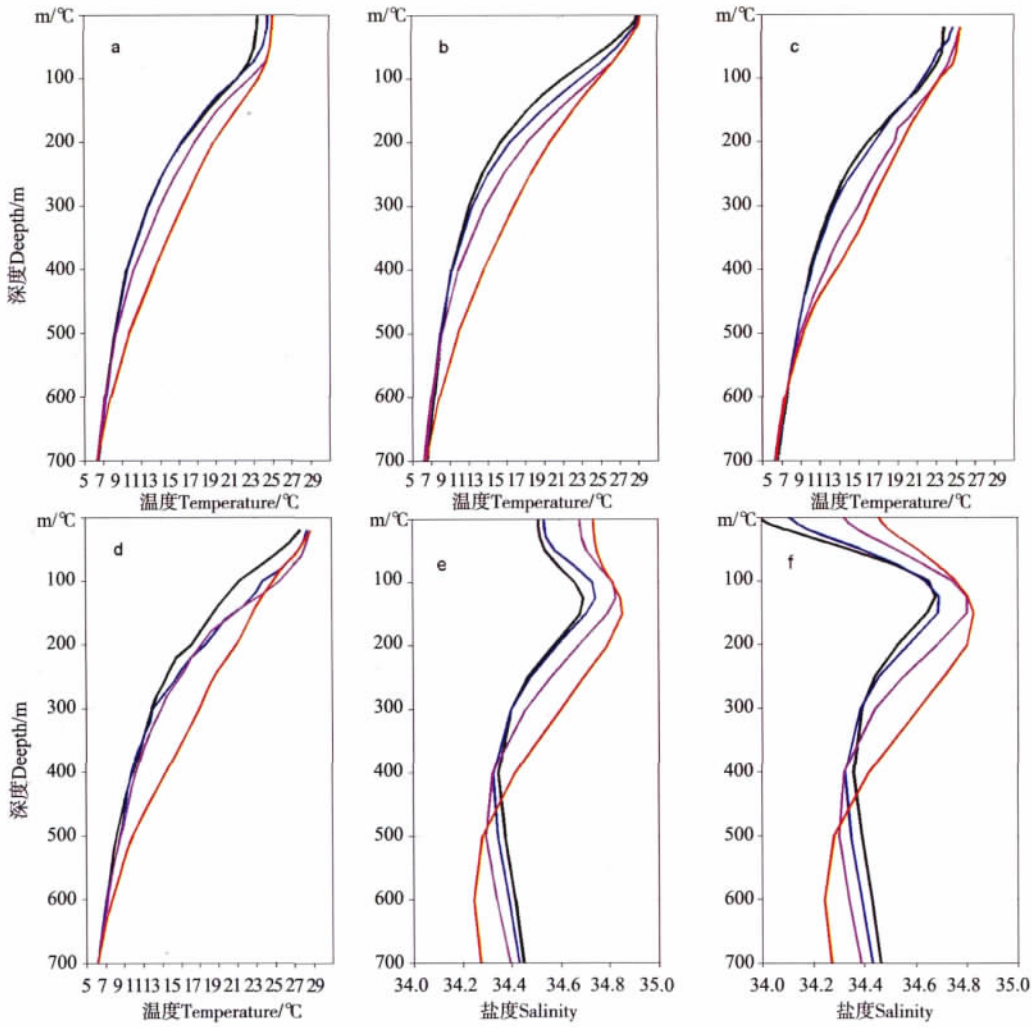
Fig. 3　Distribution of 21°N temperature profile and temperature horizontal gradient(in shaded) based on HYCOM data

为了弄清楚南海北部、吕宋海峡及吕宋海峡以东区域内海水的温盐特性在气候平均态下的差异，选出 4 个具有代表性质的区域进行研究，如图 2 中 4 个方框所示，分别取名为南海北部区(116.5°E～118°E，20°N～22°N)，涡旋脱落区(119.6°E～120.3°E，20.6°N～22°N)，黑潮流轴区(120.6°E～122°E，18.5°N～22°N)，吕宋海峡以东区(122°E～123°E，20.5°N～21.5°N)，在图 4 中分别用黑、蓝、粉、红 4 种颜色表示。其中涡旋脱落区域根据文献[1]中表 1 给出的涡旋脱落区的经度范围而定，南海北部区则选择 118°E 以东的区域，避开了反气旋涡脱落的影响。从图 4a 和图 4b HYCOM 数据温度的瀑布图中可以看出，南海北部的冬季表层温度要比吕宋海峡以东的低 2 ℃左右，随着深度加深，温差也变大，到大约 600～700 m 深度时温度才一致。而在夏天 2 处区域表层温度接近，但随着深度加深，温差变大。根据 ARGO 浮标数据得到的冬季温度分布情况(见图 4c)和 HYCOM 数据的较一致，而关于夏季的温度分布情况，浮标结果(见图 4d)显示涡旋脱落区和黑潮流轴区一致，但在 HYCOM 数据结果中这两者却存在差异，这可能和浮标数据在黑潮流轴区域数据缺乏有关。根据 HYCOM 数据显示，冬季在上 400 m，南海北部海水的盐度要比吕宋海峡以东海水的盐度底 0.3PSU左右，400 m 以下 2 个水团的差别相反，南海北部海水的盐度要比吕宋海峡以东海水的盐度高 0.2PSU左右(见图 4e)。在夏季情况与冬季类似。总之，无论是冬天还是夏天，2 种数据结果都显示在吕宋海峡两侧，海水温盐特性存在较大的区别。表明吕宋海峡以东的海水特性并不能被传递到南海北部。从气候平均态来看，吕宋海峡以东的海水与吕宋以西的南海北部海水间并不存在明显的相似特征。

3　吕宋海峡以东海洋涡旋的移动特性

为探讨吕宋东海洋涡旋能否进入南海，根据海平面高度和 O-W 数确定了涡旋的中心位置，并绘出了涡旋轨迹(见图 5，6)。其中 2003 年 11 月～2009 年 10 月之间追踪到生命周期超过 40d 的反气旋涡 24 个，生命周期超过 26d 的气旋涡 39 个。从图 5 可以看出的吕宋海峡以东的反涡旋较大部分来自于沿 22°N～24°N 的纬度带(与 Hwang et al 等[18]的结果较为一致)，主要影响台湾以东黑潮，被黑潮平流后向北运动，仅少数反气旋涡来自于 21°N 以南，来自于该纬度带的反气旋涡在接近黑潮时多会在黑潮的影响下向北移动，或因巴布延群岛或者巴坦群岛的作用下速耗散衰减，并入黑潮主轴。而吕宋海峡以东的气旋涡较多来自于 21°N 以南(见图 6)，大都在西传到黑潮附近时，受黑潮的影响向北移动，或者被岛屿地形所耗散。检测到的 39 个气旋涡中仅 1 例进入南海(见图 6 中黑色轨迹所示)。由于追踪条件的限制，在碰到岛屿后中断了，但从海平面高度场及水质点追踪结果可看出该气旋涡进入南海，具体见本文第四部分。总之，通过吕宋海峡以东海洋涡旋的移动特性的分析，发现没有反气旋穿过黑潮，而气旋也极少穿过黑潮，进入南海。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)HYCOM 数据冬季温度;b) HYCOM 数据夏季温度;c)ARGO 数据冬季温度;d) ARGO 数据夏季温度;e) HYCOM 数据冬季盐度;f) HYCOM 数据夏季盐度(红线:吕宋东,粉线:黑潮流轴,蓝线:涡旋脱落区黑线:南海北部区)。a) The winter's temperature based on HYCOM data; b) The summer's temperature based on HYCOM data; c) The winter's temperature based on ARGO data; d) The summer's temperature based on ARGO data; e) The winter's salt based on HYCOM data; f) The summer's slat based on HYCOM data(Red line: east of Luzon strait; Pink line: Kuroshio axis; Blue line: shedding eddy; Black line: north of SCS).)

图 4 温度、盐度垂直分布图

Fig. 4 Vertical distribution of temperature and salinity

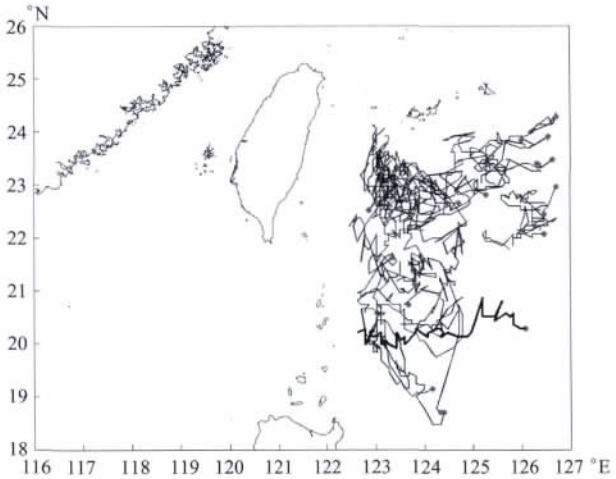


图 5 反气旋涡的移动路径

Fig. 5 The trajectory of anticyclone

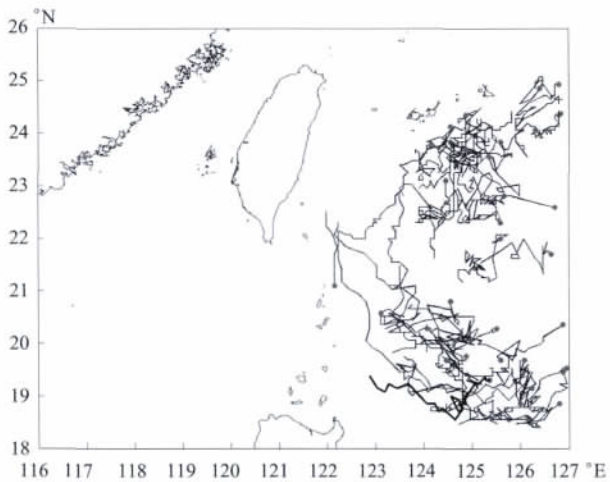


图 6 气旋涡的移动路径

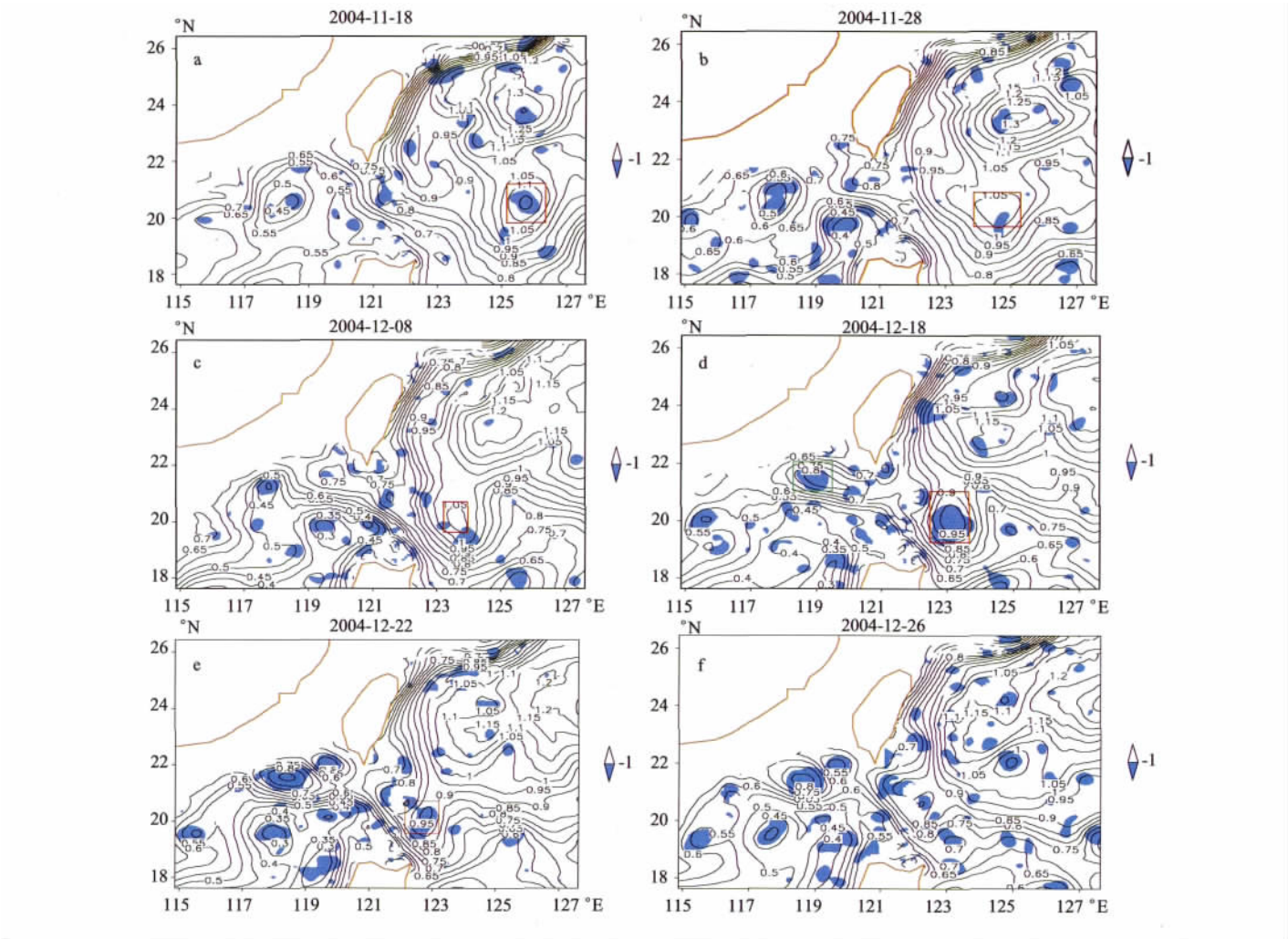
Fig. 6 The trajectory of cyclone

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　吕宋以东涡旋影响黑潮的个例分析

4.1 反气旋涡个例分析

为进一步探讨吕宋海峡以东的海洋涡旋是否能够进入并影响南海，本文选取出现在吕宋海峡以东的反气旋涡和气旋涡 2 个个例进行分析（其移动轨迹分别见图 5 和 6 中黑线所示）。首先以发生 2004 年 11 月 18 日的反气旋为例，该反气旋是图 5 中唯一 1 个沿 20°N西移并到达黑潮主轴的反气旋（见图 5 中黑色轨迹所示）。图 7 为反气旋西传过程海平面高度和 $q/q_0<-1$ 区域的分布变化图。从中可以看到 $q/q_0<-1$ 区域（$q/q_0<-1$ 的区域环流以涡旋为主）的分布与海平面高度场有很好的对应关系。反气旋涡的起始位置是（126°E，21°N），影响深度大约 150 m，地转涡度为 $-2.62\times10^{-6}\ s^{-1}$，$q/q_0$ 为 -1.24，黑潮的涡度为 $-2.68\times10^{-6}s^{-1}$，和反气旋涡的涡度相当。反气旋涡的移动速度大约 0.12 m/s。可以看到吕宋海峡以东的反气旋涡在到达黑潮主轴附近后，受位于（122°E，19.5°N）巴布延群岛的的影响迅速耗散衰减，并入黑潮主轴，不能进入南海。虽然根据 Sheu et al.[4] 的理论，和黑潮主轴涡度相当的涡旋能够影响黑潮主轴并使其发生弯曲，有可能穿越黑潮，但是从该个例来看，尽管该反气旋涡到达黑潮主轴时是冬季，黑潮的位涡障碍较弱时，但该反气旋涡由于岛屿作用迅速减弱，并未能影响到黑潮。另外，2004 年 12 月 26 日有 1 个反气旋涡从黑潮中脱落进入南海[1]，但是该反气旋涡从黑潮中的脱落和吕宋海峡以东的这个反气旋涡之间并不存在关联。

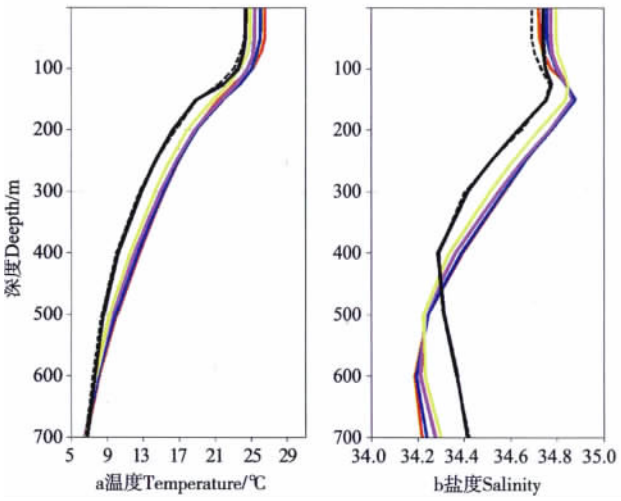


（红框区域：吕宋东反气旋，绿框区域：脱落反气旋。Red frame：Luzon strait east anticyclone；Green frame：Shedding anticyclone）

图 7　2004 年 11 月 18 日～12 月 26 日吕宋岛附近海平面高度场（等值线，m）和 $q/q_0<-1$ 区域（颜色）的变化

Fig. 7　SSH (in contour, m) and $q/q_0<-1$ (shaded) around Luzon strait from Nov. 18th, 2004 to Dec. 26th, 2004

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(红实线:11月18号吕宋东反气旋;蓝实线:11月28号吕宋东反气旋;粉实线:12月8号吕宋东反气旋;黄实线:12月16号吕宋东反气旋;黑实线:12月16号黑潮流轴区;黑虚线:12月16号脱落反气旋。Red active line: November 18 Luzon strait east anticyclone; Blue active line: November 18 Luzon strait east anticyclone; Pink active line: December 8 Luzon strait east anticyclone; Yellow active line: December 16 Luzon strait east anticyclone; Black active line: December 16 Kuroshio axis; Black dotted line: December 16 shedding anticyclone.)

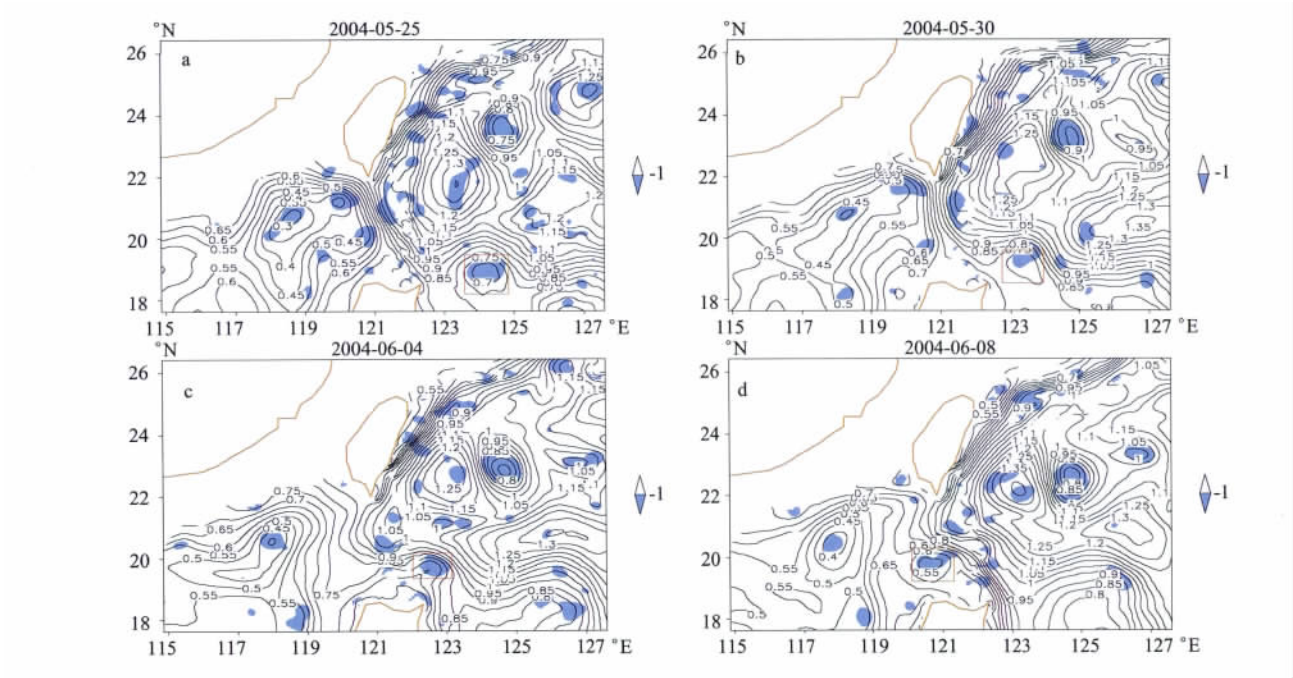
图8 吕宋东反气旋涡和从黑潮中脱落进入南海的反气旋涡的温度及盐度垂直分布

Fig. 8 The temperature and salinity properties of the anticyclone and shedding anticyclone

图8进一步给出了该反气旋区域平均的温盐特征随时间的变化。其中红实线、蓝实线、粉实线、黄实线分别代表图7中相应时刻相应的反气旋涡区域平均的温盐垂直分布,黑实线和黑虚线分别代表图7d中黑潮流轴和从黑潮脱落的反气旋的温盐分布。可以看到吕宋海峡以东的反气旋涡的温盐性质以高温高盐的特性为主,温跃层内部尤其明显。其温度与黑潮主轴及从黑潮中脱落的反气旋涡不同,后两者较为一致。脱落的反气旋的盐度明显比吕宋以东的涡旋要低。说明黑潮入侵时,只是流轴西侧的水进入南海,流轴东侧的水仍留在太平洋,表明南海北部的反气旋涡是从黑潮中脱落而来的,而不是吕宋以东的涡旋穿越黑潮而来。

4.2 气旋涡进入南海的个例

基于HYCOM资料2003—2009年期间大部分气旋涡在西移遇到黑潮后减弱消失或随黑潮平流向北。唯一1个气旋涡(见图6中黑色轨迹所示)进入南海的例子发生2004年5月25日~6月17日。图9是气旋涡西传过程海平面高度和$q/q_0<-1$区域的分布变化过程。可以看到气旋涡从吕宋海峡南部穿越黑潮进入南海。气旋涡的初始位置在124.08°E,19.30°N,移动速度大约0.14 m/s,深度在100 m左右,涡度为$5.87\times10^{-6}s^{-1}$,q/q_0为-2.67,而黑潮的涡度为$-5.69\times10^{-6}s^{-1}$,气旋涡的涡度与黑潮的涡度相当,且在这个个例中,q/q_0的值和涡度值均明显大于反气旋涡的个例。据Sheu et al.[4],当气旋涡与黑潮相互作用时,黑潮弯曲,在吕宋海峡上半部形成较强的反气旋式涡度,下半部形成气旋式涡度。黑潮流轴呈现一个"S"型,上半部对气旋涡有向西南方向的作用力,下半部有向西北方向的作用力,合力向西,这样使得气旋涡穿越黑潮,进入南海。从图9中黑潮主轴的弯曲及气旋涡的变化可以看到这一过程。图10中,红线、蓝线、粉线、黄线和黑线分别代表图9中相应时刻相应位置气旋涡区域平均的温盐分布。从图10中可以明显的看出,该气旋涡在进入南海前表现为太平洋性质水,在气旋涡旋进入南海后,该气旋涡随时和外界进行质量交换,气旋涡旋内部水的性质在进入南海后发生了改变,具有了南海水的性质。这表明尽管该气旋涡能够穿越黑潮进入南海,但因气旋涡不能有效保持温盐特性,对南海北部的水团性质并未发生影响。



© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

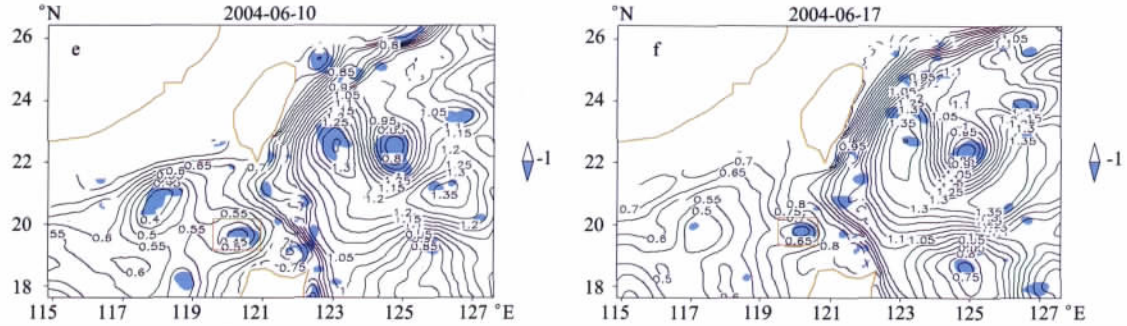
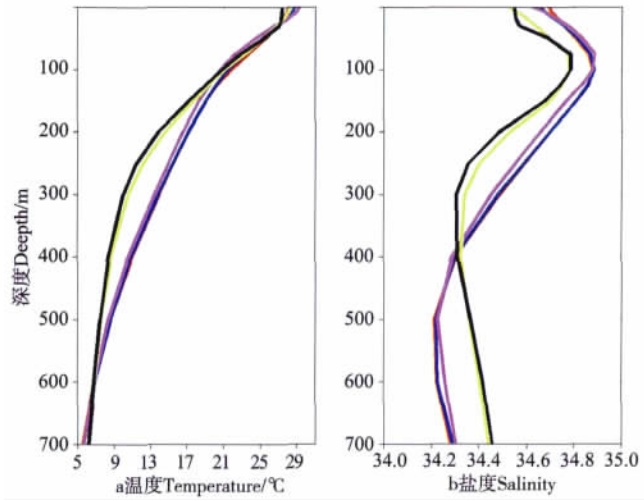


图 9　2004 年 5 月 25 日到 6 月 17 号吕宋岛附近海平面高度场（等值线，m）和 $q/q_0<1$ 区域（颜色）的变化（红框区域：气旋）

Fig. 9　SSH (Contour, m) and $q/q_0<-1$aroundLuzon strait from May. 25th, 2004 to Jun. 17th, 2004(Red frame: cyclone)



（红线：5 月 25 号气旋；蓝线：5 月 30 号气旋；粉线：6 月 4 号气旋；黄线：6 月 8 气旋；黑线：6 月 10 号气旋。Red line: May 25cyclone; Blue line: May 30 cyclone; Pink line: June 4 cyclone; Yellow line: May 8 cyclone; Black line: June 10 cyclone.）

图 10　气旋涡进入南海前后的温度盐度图

Fig. 10　The distribution of salinity and temperature during the cyclone enter SCS

4.3 涡旋内部水质点的路径追踪

为进一步验证上述反气旋涡和气旋涡中的水体能否进入南海，利用龙格-库塔法对上述反气旋涡和气旋涡内部的水质点在等位温面上的路径进行了追踪（见图 11，12），因 HYCOM 数据垂直分辨率的限制，为提高计算精度，选取涡旋接近黑潮的时间为初始时间。因涡旋引起的主要温、盐、流场变化在温跃层内，选取了 sigma＝25 的等位温面进行追踪（大约在 150 m 左右，温跃层中部）。对反气旋涡，取 2004 年 12 月 2 号为初始时间进行追踪，计算 26d 内水质点的移动轨迹，发现反气旋涡内部的水质点首先沿涡旋进行旋转运动，然后逐渐西移，移动速度约为 0.08 m/s，在反气旋涡接近黑潮主轴后，西侧的水质点并入黑潮并沿黑潮向北移动，东侧的水质点仍具有在涡旋内部旋转的趋势（见图 11）。但未发现有水质点进入南海。对气旋涡，取 2004 年 6 月 2 号为初始时间进行追踪，计算了 16d，水质点的移动速度约为 0.1 m/s，对气旋涡来说，其内部约只有 4%的水质点进入南海（见图 12）。从中可见，尽管气旋涡能够进入南海，但是带入南海的水量非常有限，对南海的影响非常有限。

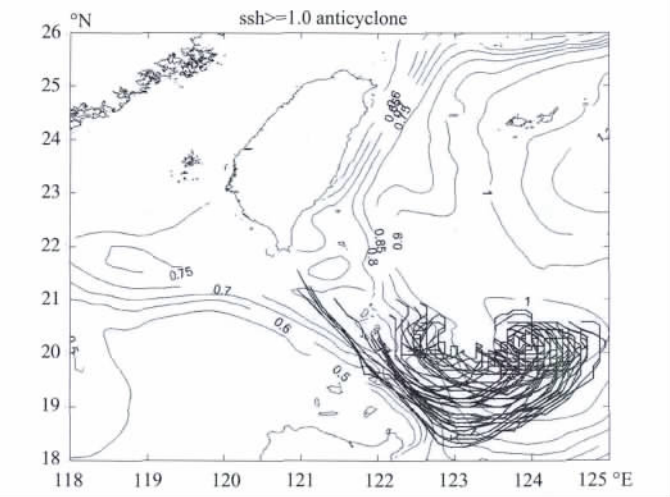


图 11　反气旋涡粒子路径和 2004 年 12 月 2 号海平面高度（等值线：m）

Fig. 11　The trajectory of anticyclone particle and the SSH of Dec. 2nd, 2004(Contour: m)

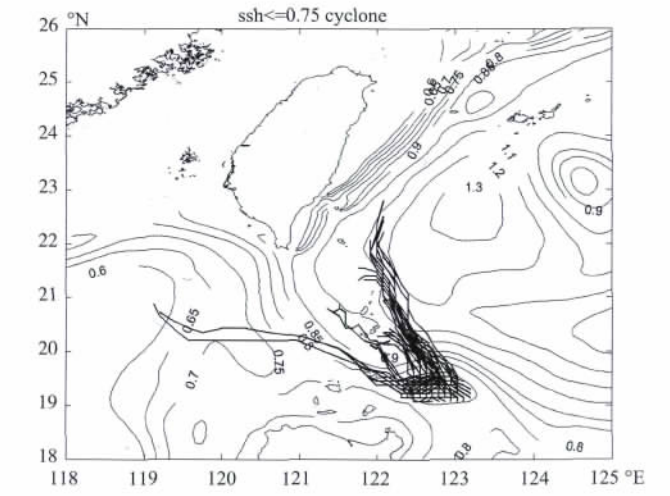


图 12　气旋涡粒子路径和 2004 年 6 月 2 号海平面高度（等值线：m）

Fig. 12　The trajectory of cyclone particle and the SSH of Jun. 2nd, 2004(Contour: m)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5 结论

本文利用 HYCOM 全球同化数据和 ARGO 浮标数据，分析了吕宋海峡以东的海洋涡旋对黑潮及南海的影响。通过对气候态下 HYCOM 数据高度场、速度场以及温度场的分析，发现气候平均态下跨越黑潮流轴的温度梯度冬天弱夏天强，这表明黑潮对其东部海域的位涡障碍作用冬弱夏强。再选择南海北部区、涡旋脱落区、流轴区、吕宋东区这 4 个代表区域进行温盐分析，发现吕宋海峡东侧和黑潮主轴、南海北部的温盐特性之间存在较大差异，可见黑潮及吕宋海峡以东的海洋涡旋对南海北部海洋温盐特性的影响十分有限。

对吕宋海峡以东海洋涡旋西移并影响黑潮及南海的规律分析表明，反气旋涡多沿 22°N 以北西移，并被黑潮平流向北移向琉球群岛，而从 21°N 以南西移而来的反气旋涡，则多在遇到巴布延群岛后迅速耗散衰减，不能通过吕宋海峡移向南海。吕宋海峡以东的气旋涡较多来自于 21°N 以南，大都在西传到黑潮附近时，受黑潮的影响向北移动，或者被岛屿地形所耗散。

在 2003—2009 年的 HYCOM 数据期间，仅观测到一例气旋涡能够引起黑潮主轴弯曲，穿过黑潮并到达南海北部。通过对这个气旋的个例分析，发现由于气旋涡的特性，其不断的和外界进行水体交换，并不能有效保持温盐特性，在气旋进入南海后气旋涡的水团性质迅速变性为南海水的特性。同时对发生在 2004 年 11 月 18 日的反气旋进行个例分析，发现反气旋在靠近黑潮时，在巴布延群岛的的影响迅速耗散衰减，并入黑潮主轴。并对以上 2 个涡旋个例中的粒子进行追踪，只有在气旋个例中有 4%的水质点能够进入南海，因此，吕宋海峡以东的海洋涡旋活动对南海北部水产生的影响有限。

另外，由于 HYCOM 数据集的时间和分辨率的限制，在对涡旋进行确定和追踪过程中，可能会出现不准确，甚至漏掉一些涡旋，在对涡旋进行水质点跟踪时也可能产生较大的误差。由于文中涉及区域 ARGO 浮标数据较少，在温盐特性分析过程中只能过多的依赖模式同化数据。随着卫星高度计资料、ARGO 浮标资料的丰富，以及高分辨率海洋数值模式模拟及同化能力的提高，作者相信对于吕宋海峡以东的海洋涡旋活动对南海北部温盐性质的影响这个问题会有进一步的认识。

致谢：感谢两位审稿人的宝贵意见。感谢美国佛罗里达州立大学大气海洋预测中心(COAPS)提供的全球同化 HYCOM 数据集(http://hycom.org/dataserver/)。感谢 ARGO 国际项目主页(http://www.argo.net/)提供的 ARGO 浮标数据。

参考文献：

[1] Jia Y L, Chassigent E P. Seasonal variation of eddy shedding from the Kuroshio intrusion in the Luzon Strait [J]. J Oceanogr, 2011, 67: 601-611.

[2] Li L, Jing C S, Zhu D Y. Coupling and propagating of mesoscale sea level variability between the western Pacific and the South China Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(12): 1699-1707.

[3] 袁东亮，李锐祥. 中尺度涡旋影响吕宋海峡黑潮变异的动力机制 [J]. 热带海洋学报, 2008, 27(4): 1-9.

[4] Sheu W J, Wu C R, Oey L Y. Blocking and westward passage of eddies in the Luzon Strait [J]. Deep-Sea Research II, 2010, 57: 1783-1791.

[5] Zheng Q N, Chang K T, Hu J Y, et al. Satellite altimeter observations of nonlinear Rossby eddy Kuroshio interaction at the Luzon Strait [J]. J Oceanogr, 2011, 14(4): 329-333.

[6] Liu Q Y, Souza D, Jia Y L, et al. Eddies in the northwest subtropical Pacific and their possible effects on the South China Sea [J]. Journal of University of China, 2005, 4(4): 329-333.

[7] 马超，吴德星，鞠霞. 利用 ARGOs 浮标资料对黑潮入侵南海问题的分析 [J]. 海洋湖沼通报, 2010, 2: 1-5.

[8] Zheng Q N, Lin H, Meng J M, et al. Sub-mesoscale ocean vortex trains in the Luzon Strait [J]. Journal Geophysical Research, 2008, 113(C04032): 1-12.

[9] Hu P, Hou Y J. Path transition of the western boundary current with a gap due to mesoscale eddies: a 1.5-layer, wind-driven experiment [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(2): 365-370.

[10] Chen G X, Hu P, Hou Y J, et al, Intrusion of the Kuroshio into the South China Sea, in September2008 [J]. J Oceanogr, 2011, 67: 439-448.

[11] Shaw P T. The seasonal variation of the intrusion of the Philippine Sea water into the South China Sea [J]. Journal of Geophysical Research, 1991, 96(c1): 821-827.

[12] 黄志达，胡建宇. 利用 ARGO 浮标资料分析横跨吕宋海峡 20.5°N 断面的水文特征 [J]. 台湾海峡, 2010, 29(4): 539-546.

[13] Chassigent E P, Hurlburt H E, Metzger E J, et al. Global ocean prediction with the hybrid coordinate ocean model (HYCOM) [J]. Oceanography, 2009, 22: 64-75.

[14] Okubo A. Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularity such as convergences [J]. Deep Sea Research, 1970, 17: 445-454.

[15] Weis S J. The dynamics of enstrophy transfer in two dimensional hydrodynamics [J]. Physica D, 1991, 48: 273-294.

[16] Jeong J, Hussain F. On the identification of a vortex [J]. Fluid Mech, 1995, 285: 69-94.

[17] George E, Michael A, Cleve B. Computer methods for mathematical computations [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1977.

[18] Hwang C, Wu C R, Kao R. TOPEX/Poseidon observations of mesoscale eddies over the subtropical countercurrent: Kinematic characteristics of an anticyclonic eddy and a cyclonic eddy [J]. J Geophys Res, 2004, 109: C08013.

(下转 92 页)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phenols Endocrine Disruptors and PAHs in Surface Sediments of Beibu Gulf

YANG Yue-Zhi[1], ZHANG Hai-Li[1], LI Zheng-Yan[1,2], DU Xiu-Ping[1], WANG Zhi-Feng[1], MENG Fan-Ping[1,2]

(Ocean University of China 1. College of Environment Science and Engineering; 2. The Key Lab of Marine Environment Science and Ecology, Ministry of Education, Qingdao 266100, China)

Abstract: Concentration, source and risk of five phenolic contaminants and 16 PAHs were studied in 9 sites in surface sediment of Beibu Gulf. The results showed that the concentrations of DCP、BP、OP、NP and BPA were 0.27～71.5, 1.16～2.83, 4.29～9.64, 16.1～42.2 and 3.07～22.8 ng/g (dry weight), respectively, and total PAHs concentration ranged from 352 to 1066 ng/g dw with a mean of 573 ng/g. There is significant correlation between PAHs and TOC($P<0.05$) and it was found PAHs mainly came from petrogenic sources. Low-molecular weight PAHs and phenolic contaminants in several sites would cause adverse effect on local ecosystem. Overall, the environment quality of Beibu Gulf is good, but environment management at some sites should be enhanced.

Key words: Beibu Gulf; phenolic contanminants; PAHs; ecological risk assessment

责任编辑 庞 旻

(上接 16 页)

Effect on Eddies in the East of the Luzon Strait to the Kuroshio and the South China Sea

SHEN Hui[1], JIA Ying-Lai[1], ZHANG Xiao[1,2], LIU Qin-Yu[1], CHEN Long-Jing[1]

(1. The Key Laboratory of Physical Oceanography, Ministry of Education, Ocean-Atmospheric Interaction and Climate Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Meteorological Observatory, Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan 030000, China)

Abstract: Using HYCOM global assimilation data and ARGO data, the difference of the water mass characteristics between the east and the west of the Luzon Strait is analyzed. Whether the eddies in the east of the Luzon strait can migrate through the Kuroshio and have impact on the north SCS(south China sea)is investigated. In climatological mean state, the temperature gradient across the Kuroshio is stronger in summer than that in winter. Through water mass analysis, the thermohaline characteristics on both sides of the Luzon strait are in significant difference, indicating that the thermohaline characteristics east of the Luzon strait could not be transported through the Strait and influence the north SCS. During the year 2003-2009(available HYCOM data period), 24 anticyclones are detected and none of them could travel through the Kuroshio. Among these anticyclones, most anticyclones migrated westward from north of 22°N and were moved northward by the advection of the Kuroshio. Anticyclones from south of 22°N tended to dissipate quickly after colliding into the Babuyan Islands. 39 cyclones are detected and only one cyclone is observed to migrate through the Kuroshio and into the north SCS. Other cyclones detected tend to migrate from south of 21(N, dissipate near the Islands or travel northward with the Kuroshio. However, only 4% of the water mass passed through the Kuroshio with the cyclone, which means the impact of that cyclone on the thermohaline characteristics of the SCS is very limited.

Key words: Luzon Strait; Kuroshio; South China Sea; eddy; thermohaline characteristics

责任编辑 庞 旻

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net