

热带气旋过境期间黑潮流轴变化的初步分析

刘广平^{1,2}, 胡建宇^{1,3}

1. 厦门大学海洋学系, 亚热带海洋研究所, 福建 厦门 361005; 2. 中国科学院南海海洋研究所海洋环境工程中心, 广东 广州 510301; 3. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361005

摘要: 利用卫星高度计资料分析了热带气旋“艾碧”(Abe, 9315)、“贝姬”(Becky, 9316)、“莫拉克”(Morakot, 0309)和“茉莉”(Melor, 0319)对吕宋海峡及其附近海域黑潮流轴的影响。研究表明: 1) 吕宋海峡附近海域黑潮流轴容易受到热带气旋的影响而发生一定的变化。2) 在热带气旋的作用下, 黑潮流轴因中尺度涡的变异而变化; 当吕宋海峡东侧的暖涡西移时, 将使黑潮流轴向西弯曲, 有利于黑潮在该处的入侵。

关键词: 热带气旋; 黑潮流轴; 吕宋海峡; 中尺度涡

中图分类号: P731.2; P722.7 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2012)01-0035-07

A preliminary analysis of variation of the Kuroshio axis during tropical cyclone

LIU Guang-ping^{1,2}, HU Jian-yu^{1,3}

1. Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005, China;
2. Marine Environmental Engineering Center, South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China;
3. State Key Laboratory of Marine Environmental Science (Xiamen University), Xiamen 361005, China

Abstract: The impacts of tropical cyclones Abe (9315), Becky (9316), Morakot (0309) and Melor (0319) on the Kuroshio axis near the Luzon Strait are analyzed using satellite altimeter data. The results are as follows. 1) As affected by tropical cyclone, the Kuroshio axis can be easily shifted. 2) Under the influence of tropical cyclone, the Kuroshio axis changes due to the variation of mesoscale eddy. As the warm eddy in the east of the Luzon Strait moves westward, the Kuroshio axis bends to the west, which is conducive to the Kuroshio's intrusion through the Luzon Strait.

Key words: tropical cyclone; Kuroshio axis; Luzon Strait; mesoscale eddy

热带气旋是一种强烈的海-气相互作用现象。在热带气旋风场的作用下, 气旋下方海洋的 Ekman 输运自气旋中心向外, 表层海水以辐散流的形式离开中心, 使得气旋中心下方海面降低, 同时引起局地的环流结构发生变化; 同时, Ekman 抽吸效应使温跃层的冷水上涌到混合层, 引起强烈的湍流混合, 造成混合层加深以及海表温度降低^[1-3]。

一些学者的研究结果显示, 热带气旋之前就存在的反气旋型环流在热带气旋过后会略微减弱^[4-7]。Lin 等^[6]指出, 暖涡较厚的混合层阻止了深层冷水被

“夹带”到混合层, 从而减弱了暖涡对热带气旋的响应。而热带气旋之前就存在的气旋型环流在热带气旋过后会得到加强^[7-9]。Hu 等^[10]研究表明, 打转的热带气旋经过海面之后, 会在海面产生一个气旋型涡旋。最近, Sun 等^[11]在日本南部海域的研究得出, 冷涡在热带气旋过后得到加强, 而且加强的冷涡又把黑潮流轴向外推移。Morimoto 等^[12]研究了热带气旋期间台湾岛东北海域黑潮流轴的移动。

吕宋海峡是黑潮流沿太平洋西岸北上过程中在吕宋岛与台湾岛之间遇到的一个边界豁口, 黑潮在此

收稿日期: 2010-08-10; 修订日期: 2010-10-15。孙淑杰编辑

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20090121110002); 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB411803、2009CB421208); 国家自然科学基金项目(40976013、40821063); 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室开放课题(200304)

作者简介: 刘广平(1982—), 男, 河北省沙河市人, 硕士, 从事物理海洋学研究。E-mail: lgp_cn@sina.com

通信作者: 胡建宇。E-mail: hujy@xmu.edu.cn

发生形变并与南海水发生交换。黑潮在吕宋海峡的路径变化往往伴随着中尺度涡现象,而中尺度涡很可能是引起黑潮路径变化的重要诱发因子^[13]。吕宋海峡及其附近海域又是热带气旋活动比较频繁的海域^[14-15]。目前,在吕宋海峡及其附近海域,关于热带气旋如何影响黑潮流轴变化、尤其是黑潮在热带气旋作用下受中尺度涡旋变异而发生变化的研究尚少见报道。

本文利用卫星高度计资料,分析吕宋海峡及其附近海域热带气旋对黑潮流轴变化的影响,特别对在热带气旋作用下黑潮流轴变化受中尺度涡旋变异的影响进行初步的探讨。

1 资料来源与处理方法

卫星高度计数据为网格化融合卫星海洋资料数据中心(Archiving, Validation and Interpretation of Satellites Oceanographic data, AVISO)提供的融合海面高度异常(sea level anomaly, SLA)和绝对地转流场(absolute geostrophic velocities, AGV)的数据,数据的空间分辨率分别为 $(1/4)^{\circ} \times (1/4)^{\circ}$ 和 $(1/3)^{\circ} \times (1/3)^{\circ}$,资料的时间间隔为7d。地转流由绝对动力地形计算,绝对动力地形是平均动力地形加上海面高度异常。Rio等^[16]给出了绝对动力地形的计算方法。这些数据经过了严格的质量控制,因此融合资料与单个高度计资料相比提供了更加真实的海面高度和地转流速^[17]。随着测量精度的不断提高,卫星高度计资料被广泛应用于海洋上层环流、中尺度海洋动力过程、大地水准面等物理海洋学研究,一些学者也将其应用于黑潮流轴的研究^[18-19]。

本文基于融合绝对地转流场 AGV 数据,利用

Ambe等^[20]所使用的特征线方法确定黑潮的主轴。在黑潮流系有多年观测结果的断面上取一点,根据历史观测结果作一条和黑潮大体垂直的辅助线(长约140 km),将某时刻AGV数据内插到辅助线上(间隔14 km),流轴位置被定义为在辅助线上一定距离(约70 km)内流速平均值最大的点,流向 θ 被定义为同一距离内的流向平均值。根据流向调整辅助线与之垂直,重复以上步骤确定新的流轴位置,然后沿 θ 方向向下游移动一定距离(约10 km)到下一位置,重复以上步骤可以得到新的流轴位置和流向,进而得到整个黑潮流轴位置。

热带气旋数据源自优利天气(unisys weather, <http://weather.unisys.com/hurricane/>)提供的数据,热带气旋等级以萨菲尔-辛普森飓风等级(Saffir-Simpson Hurricane Scale)进行划分。

2 个例分析

本文选取1993年热带气旋“艾碧”(Abe, 9315; 中国中央气象台编号,下同)和“贝姬”(Becky, 9316),2003年热带气旋“莫拉克”(Morakot, 0309)和“茉莉”(Melor, 0319)进行热带气旋影响下黑潮流轴变化的分析研究。

2.1 1993年热带气旋“艾碧”和“贝姬”

1993年热带气旋“艾碧”于9月8日以热带低压形式生成于吕宋岛以西海域,之后向东偏北方向移动;9月10日加强为热带风暴,而后转向西北方向移动;9月11日加强为1级台风,并逐渐增强;9月12日午时达到最强,为3级台风;于9月14日在广东东部海岸登陆(图1a)。

1993年热带气旋“贝姬”于9月9日以热带低

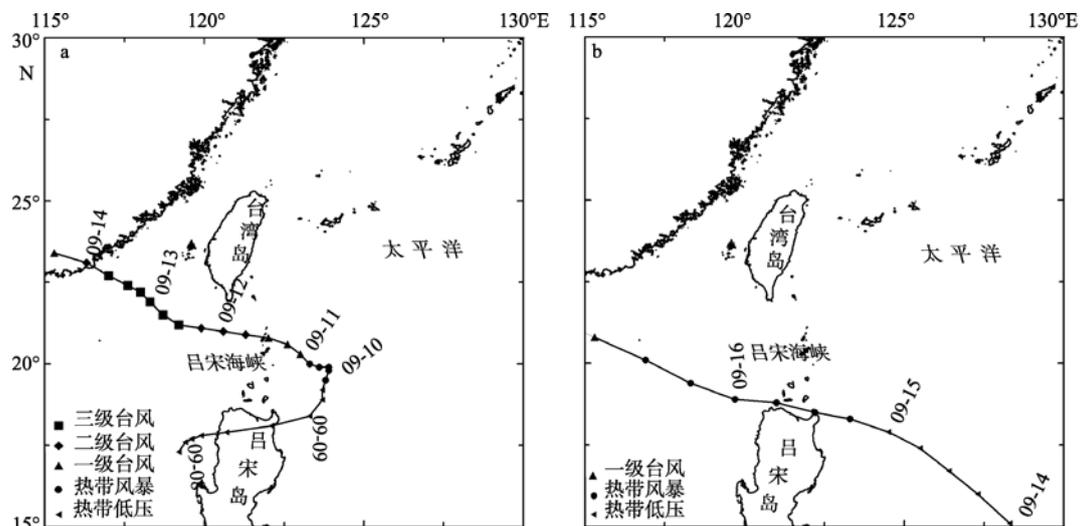


图1 1993年热带气旋“艾碧”(a)和“贝姬”(b)路径

Fig. 1 Track of tropical cyclones “Abe” (a) and “Becky” (b) in 1993

压形式生成于吕宋岛东南海域，之后向西北方向移动；9月15日后加强为热带风暴；9月16日晚达到最强，为1级台风；于9月17日在广东沿岸登陆(图1b)。

热带气旋“艾碧”形成前(9月1日；图2a)，吕宋海峡东侧海域存在2个较强的暖涡，北部暖涡中心的SLA值高于30cm，南部暖涡中心高于20cm，两暖涡外围在10cm左右，黑潮受2个暖涡的影响，流轴沿10cm的SLA等值线向西明显弯曲。9月8日(图2b)，“艾碧”已形成，其风场对黑潮和暖涡产生影响，暖涡开始减弱，暖涡南部中心的SLA值已下降了10cm左右；黑潮沿暖涡西侧北上，但是受暖

涡和热带气旋的影响，黑潮流轴在吕宋海峡东侧的西向弯曲减弱。9月15日(图2c)，热带气旋“贝姬”进入吕宋海峡东南海域，其对暖涡进一步产生影响，暖涡明显减弱，南部暖涡中心消失，北部中心的SLA值又下降了10cm左右；同时，受热带气旋“贝姬”影响，吕宋海峡西侧的气旋型环流增强，黑潮流轴在热带气旋、暖涡和气旋型环流的作用下，流轴向东偏移。9月22日(图2d)，热带气旋过后，黑潮在吕宋海峡东侧沿暖涡外围(10cm的SLA等值线)北上。与热带气旋前(9月1日)相比，黑潮流轴在吕宋海峡附近发生一定的形变，流轴在吕宋海峡处向东移动。

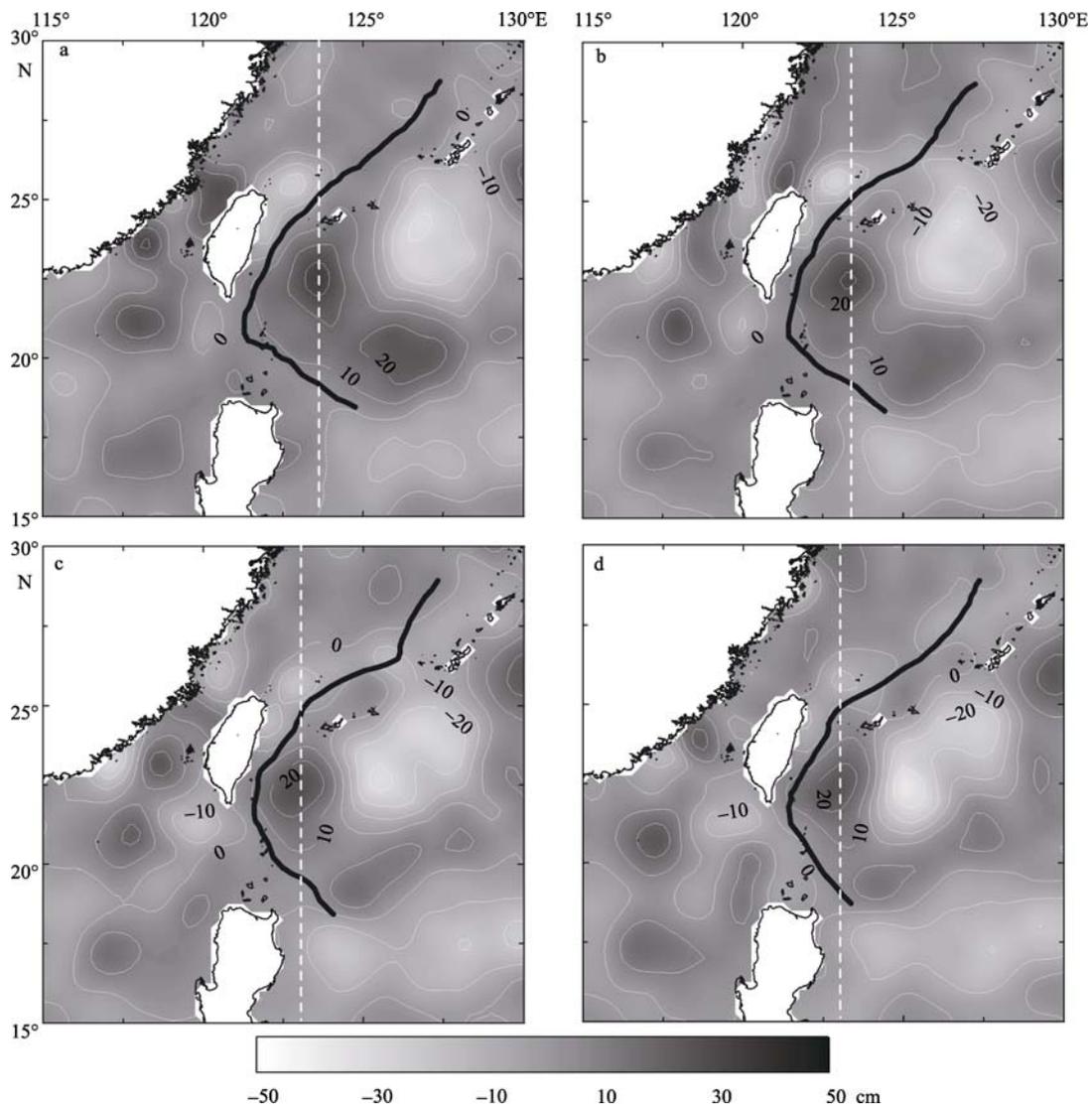


图2 热带气旋“艾碧”和“贝姬”期间黑潮流轴的变化

a. 9月1日；b. 9月8日；c. 9月15日；d. 9月22日。背景为SLA，黑线为黑潮流轴，白色虚线为暖涡中心经度位置

Fig. 2 Variation of Kuroshio axis during tropical cyclones “Abe” and “Becky”. (a) Sep. 1, (b) Sep. 8, (c) Sep. 15, (d) Sep. 22. Background is the SLA; black curve is the Kuroshio axis, and white dashed line crosses the center of a warm eddy

热带气旋“艾碧”和“贝姬”期间，在热带气旋的作用下，热带气旋引起的暖涡减弱和气旋型环

流增强,一定程度上对黑潮流轴产生了影响。在热带气旋影响下,吕宋海峡东侧减弱的暖涡向东“拉”黑潮流轴,而吕宋海峡西侧增强的气旋型环流又向东“推”黑潮流轴,这就阻止了黑潮流轴的向西弯曲,从而不利于黑潮在吕宋海峡处的入侵。

2.2 2003年热带气旋“莫拉克”

2003年热带气旋“莫拉克”于8月2日以热带低压形成于吕宋岛以东海域,之后朝西北方向移去;8月3日加强为1级台风,并于当晚登陆台湾岛;之后穿越台湾海峡,于8月4日晚在福建东南沿岸登陆(图3)。

从图4a和图4b可以清楚地看到,热带气旋“莫拉克”形成前,吕宋海峡东侧海域存在一个较强的反气旋型环流(暖涡),其中心的SLA值高于50cm。在“莫拉克”形成之前,暖涡外缘环流对黑潮流轴

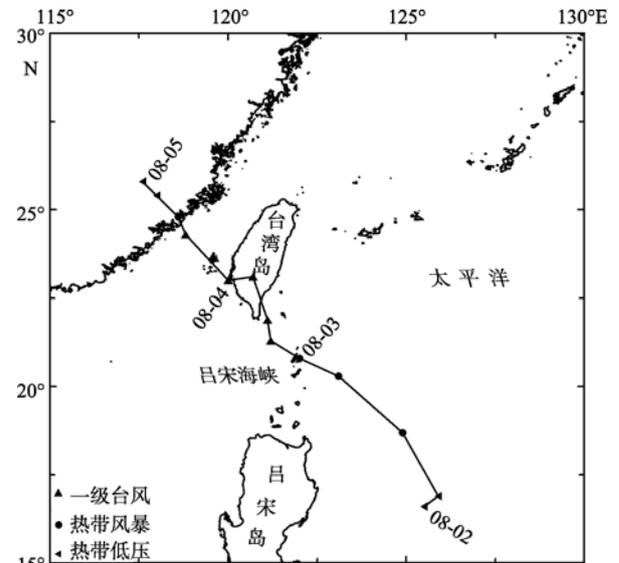


图3 2003年热带气旋“莫拉克”路径
Fig. 3 Track of tropical cyclone “Morakot” in 2003

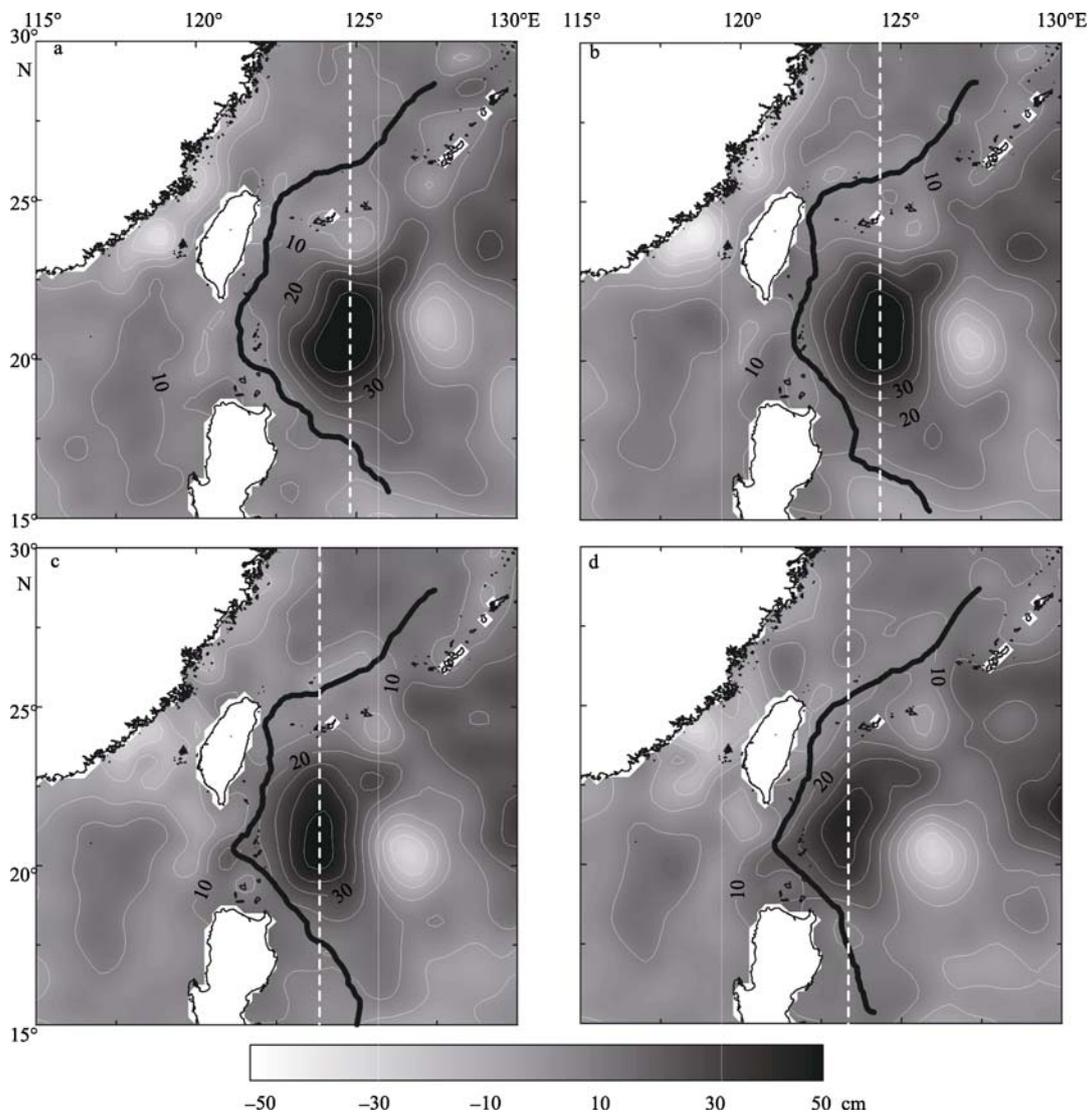


图4 热带气旋“莫拉克”期间黑潮流轴的变化
a. 7月23日; b. 7月30日; c. 8月6日; d. 8月13日。背景为SLA, 黑线为黑潮流轴, 白色虚线为暖涡中心经度位置
Fig. 4 Same as Fig.2, except for “Morakot”. (a) July 23, (b) July 30, (c) Aug. 6, and (d) Aug. 13

产生一定影响, 黑潮流轴暖涡外缘在吕宋海峡处弯曲后北上(图 4a、b)。8月6日(图 4c), “莫拉克”过后, 暖涡强度减弱、范围缩小, 黑潮流轴出现向西弯曲。8月13日(图 4d), 暖涡进一步产生明显的变形, 暖涡呈椭圆状, 长轴为东北-西南走向, 在暖涡的作用下, 黑潮流轴产生明显的向西弯曲, 从而对黑潮入侵南海产生影响。

热带气旋“莫拉克”作用期间, 受吕宋海峡东侧暖涡的影响, 黑潮流轴发生了变化。受暖涡西移和热带气旋的影响, 黑潮流轴产生明显的向西弯曲, 将有利于黑潮在吕宋海峡处的入侵。在“莫拉克”影响之后, 暖涡逐步减弱, 导致黑潮流轴产生形变。因“莫拉克”的强度较小(1级), “莫拉克”对暖涡的影响有限, 暖涡变化并不太大。

2.3 2003年热带气旋“茉莉”

2003年热带气旋“茉莉”于10月30日以热带低压形成于吕宋岛东南海域, 之后朝西北方向移去; 10月31日午时加强为1级台风; 11月1日以最高风速 $37.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 登陆吕宋岛; 而后经吕宋海峡转向东北方向移动, 于11月4日减弱为热带风暴而消失(图 5)。

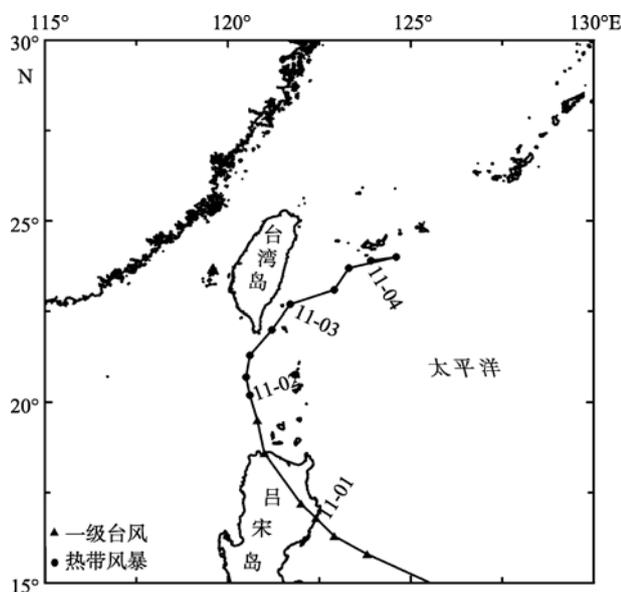


图 5 2003年热带气旋“茉莉”路径

Fig. 5 Track of tropical cyclone “Melor” in 2003

热带气旋“茉莉”形成之前(图 6a), 吕宋岛东北海域存在一弱的气旋型环流, 吕宋海峡中部东侧海域存在一较强的暖涡, 暖涡中心的 SLA 高于 30cm , 台湾岛东侧海域也存在一弱的气旋型环流, 它们的存在对黑潮流轴的影响明显。黑潮流轴沿吕宋岛东北海域气旋型环流的东侧外缘北上, 遇到吕

宋海峡中部东侧的暖涡后, 由于暖涡的存在, 导致黑潮流轴沿 10cm 的 SLA 等值线向吕宋海峡西侧弯曲; 之后, 在暖涡和台湾岛东侧的气旋型环流的影响下, 黑潮流轴在台湾岛东侧稍微弯曲后北上。10月29日(图 6b), 热带气旋“茉莉”尚未形成, 但暖涡已开始减弱, 暖涡中心 SLA 小于 30cm , 其范围略有减小, 黑潮流轴变化不明显。11月5日(图 6c), 热带气旋“茉莉”过后, 吕宋岛西北的气旋型环流增强, 在气旋型环流及“茉莉”的影响下, 黑潮流轴沿环流东侧外围 10cm 的 SLA 等值线北上; 同时, 吕宋海峡东侧的暖涡明显减弱, 暖涡范围明显减小, 而且暖涡中心西移, 受热带气旋“茉莉”和暖涡的作用, 黑潮流轴向西弯曲; 由于台湾岛东侧海域的气旋型环流在“茉莉”影响下增强, 黑潮流轴也在此出现弯曲。11月12日(图 6d), 吕宋海峡东侧的暖涡进一步减弱, 中心随“茉莉”北移, 黑潮流轴向西弯曲减弱。

热带气旋“茉莉”期间, 在“茉莉”的作用下, 受“茉莉”引起的吕宋海峡东侧暖涡的减弱、变形及西移的影响, 黑潮流轴产生了变化, 即流轴出现向西弯曲。而吕宋岛东北海域和台湾岛东侧海域的气旋型环流则表现出增强的趋势, 但受“茉莉”强度和作用时间所限, 气旋型环流并未发展为较强的冷涡。注意到, 暖涡在热带气旋“茉莉”形成前已开始减弱, 黑潮流轴的变化是在热带气旋和暖涡的共同作用下产生的, 而热带气旋则加剧了暖涡的减弱。

3 小结

本文利用卫星高度计资料, 选择1993年热带气旋“艾碧”和“贝姬”、2003年热带气旋“莫拉克”和“茉莉”等4个个例, 重点探讨了在热带气旋的作用下黑潮流轴在吕宋海峡及其附近海域的变化, 结果如下。

1) 吕宋海峡附近海域黑潮流轴容易受到热带气旋的影响而发生一定的变化, 其机制可能是多方面的, 其中一种机制就是在热带气旋作用下, 黑潮流轴受中尺度涡的变异而发生变化。

2) 当吕宋海峡以东或东北存在暖涡(反气旋型环流)时, 热带气旋作用后, 暖涡减弱、西移及变形, 在热带气旋和变化的暖涡作用下, 黑潮流轴将产生变化, 其中西移的暖涡使黑潮流轴向西弯曲, 从而有利于黑潮在吕宋海峡处的入侵; 当吕宋海峡西侧存在气旋型环流时, 受热带气旋影响的气旋型环流

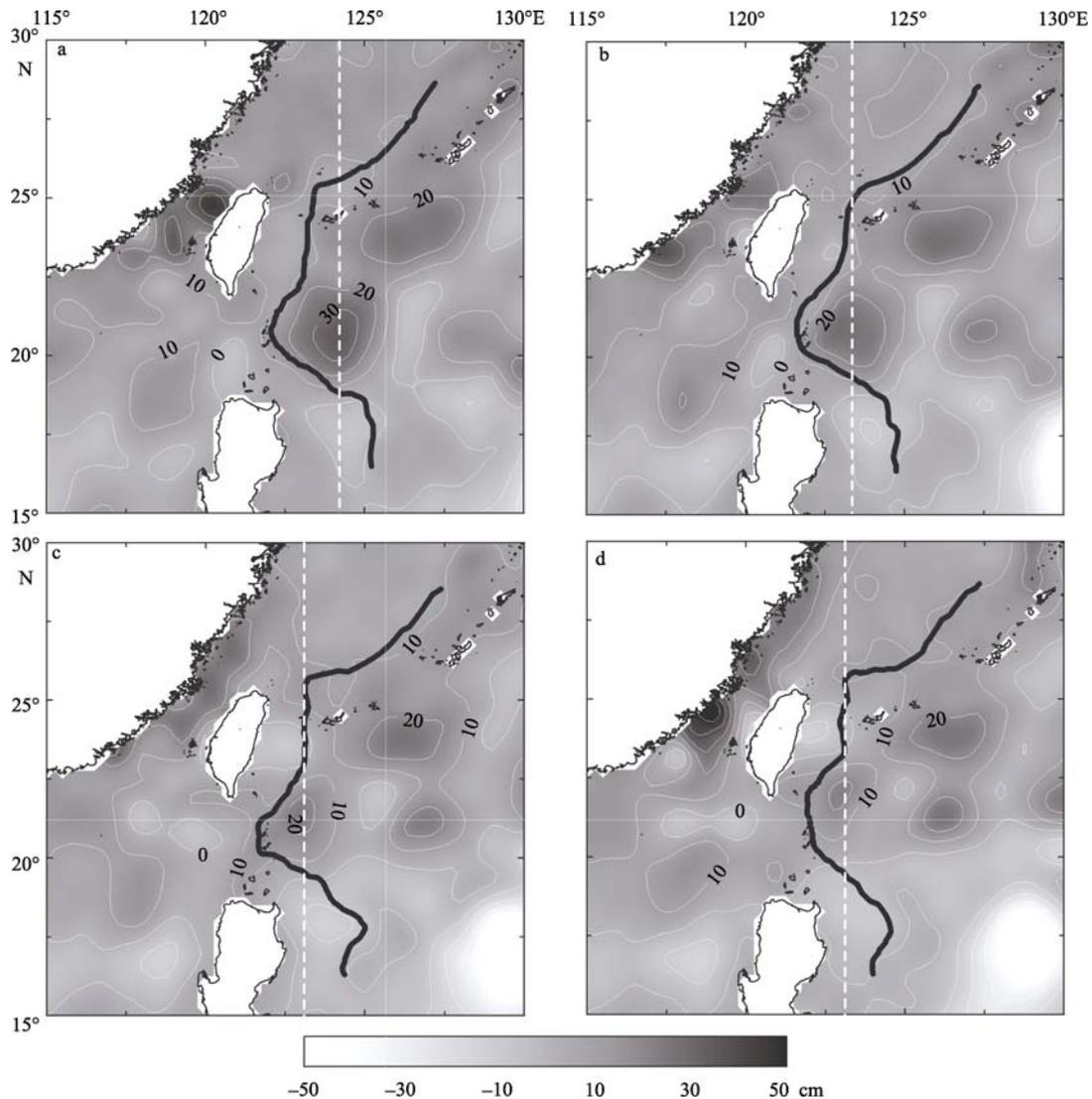


图 6 热带气旋“茉莉”期间黑潮流轴的变化

a. 10月22日; b. 10月29日; c. 11月5日; d. 11月12日。背景为SLA, 黑线为黑潮流轴, 白色虚线为暖涡中心经度位置

Fig. 6 Same as Fig.2, except for “Melor”. (a) Oct. 22, (b) Oct. 29, (c) Nov. 5, and (d) Nov.12

北移或增强, 会使黑潮流轴向东推移, 阻止黑潮流轴向西弯曲, 将不利于黑潮在吕宋海峡处的入侵。

需要指出的是, 由于吕宋海峡附近海域在热带气旋这种强烈的灾害性天气情况下浮标等观测资料较少, 尚无法深入细致地研究热带气旋对黑潮流轴

的影响, 如热带气旋如何直接影响黑潮流轴、热带气旋对暖涡的影响程度以及黑潮的斜压响应等; 而利用卫星高度计资料又存在分辨率偏低的问题, 导致计算出来的黑潮流轴位置存在误差(如在台湾以东离岸较远)。为此有必要利用数值模式对这些问题开展进一步的研究。

参考文献

- [1] PRICE J F. Upper ocean response to a hurricane[J]. Journal of Physical Oceanography, 1981, 11(2): 153-175.
- [2] 安赛斯 R A. 热带气旋的发展、结构和影响[M]. 李毓芳, 黄安丽, 周钦华, 译. 北京: 气象出版社, 1987: 162-164.
- [3] 孙璐, 王东晓, 胡建宇, 等. 南海北部海洋对局地生成热带气旋的响应[J]. 热带海洋学报, 2008, 27(4): 10-18.
- [4] SHAY L K, GONI G J, BLACK P G. Effects of a warm oceanic feature on Hurricane Opal[J]. Monthly Weather Review, 2000, 128(5): 1366-1383.
- [5] HONG X, CHANG S W, RAMAN S, et al. The interaction between Hurricane Opal (1995) and a warm core ring in the Gulf of Mexico[J]. Monthly Weather Review, 2000, 128(5):

- 1347-1365.
- [6] LIN I I, WU C C, EMANUEL K A, et al. The interaction of super typhoon Maemi with a warm ocean eddy[J]. *Monthly Weather Review*, 2005, 133(9): 2635-2649.
- [7] 刘广平, 胡建宇. 南海中尺度涡旋对热带气旋的响应: 个例研究[J]. *台湾海峡*, 2009, 28(3): 308-315.
- [8] WALKER N D, LEBEN R R, BALASUBRAMANIAN S. Hurricane-forced upwelling and chlorophyll a enhancement within cold-core cyclones in the Gulf of Mexico[J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(18): L18610.1-L18610.5.
- [9] GIERACH M M, SUBRAHMANYAM B. Satellite data analysis of the upper ocean response to Hurricanes Katrina and Rita (2005) in the Gulf of Mexico[J]. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2007, 4(1): 132-136.
- [10] HU J Y, KAWAMURA H. Detection of cyclonic eddy generated by looping tropical cyclone in the northern South China sea: a case study[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 23(2): 213-224.
- [11] SUN L, YANG Y J, FU Y F. Impacts of typhoons on the Kuroshio large meander: Observation evidences[J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2009, 2(1): 45-50.
- [12] MORIMOTO A, KOJIMA S, JAN S, et al. Movement of the Kuroshio axis to the northeast shelf of Taiwan during typhoon events[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 82(3): 547-552.
- [13] 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.
- [14] 阎俊岳, 陈乾金, 张秀芝, 等. 中国近海气候[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 78-99.
- [15] 周俊华, 史培军, 陈学文. 1949~1999年西北太平洋热带气旋活动时空分异研究[J]. *自然灾害学报*, 2002, 11(8): 44-49.
- [16] RIO M H, HERNANDEZ F. A mean dynamic topography computed over the world ocean from altimetry, in situ measurements, and a geoid model[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109: C12032.
- [17] LE TRAON P Y, DIBARBOURE G. Mesoscale mapping capabilities of multiple-satellite altimeter missions[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1999, 16(9): 1208-1223.
- [18] IMAWAKI S, GOTOH M, YORITAKA H, et al. Detecting fluctuations of the Kuroshio axis south of Japan using TOPEX/POSEIDON altimeter data[J]. *Journal of Oceanography*, 1996, 52(1): 69-92.
- [19] 王海龙, 郭佩芳, 钱成春, 等. 高度计资料监测日本以南黑潮主轴特性的变化[J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(4): 84-92.
- [20] AMBE D, IMAWAKI S, UCHIDA H, et al. Estimating the Kuroshio axis south of Japan using combination of satellite altimetry and drifting buoys [J]. *Journal of Oceanography*, 2004, 60(2): 375-382.