doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.04.010

东海黑潮对台风过境的响应特征

张 磊,韩卫通,康力朝
(海军大连舰艇学院,辽宁 大连 116018)

摘 要:文中调查了"威马逊"台风过境时东海黑潮对台风的响应特征,以海面高度异常(Sea Level Anomaly, *SLA*)和摩擦深度作为主要研究因子,利用艾克曼风生海流理论,得出了在"威马逊"台风过程中东海黑潮附近海域尤其是宫古海峡处的 *SLA* 值和摩擦深度的响应特征,发现了东海黑潮及其周边海域表层流场与海面高度异常值(*SLA*)之间的对应关系存在明显的季节性变化特征, *SLA* 正负极值区对应的表层流场一般呈现反气旋型分布和气旋型分布,利用这一对应关系可以有效地分析判断在台风过程中东海黑潮及附近海域表层流场的响应特征。其结论对于东海黑潮流域的海洋环境分析和该区域的军事活动都有一定的参考价值。

关键词:黑潮;台风;海表面高度异常
中图分类号:P731.21 **文献标志码**:A **文章编号**:1003-2029(2019)04-0061-05

黑潮是起源于菲律宾以东的西北太平洋的流势最强的暖流[1-2],其流量与海面高度异常有关,并进一步对临近海域的海洋环境和我国东部沿海地区的气候变化具有重要的影响[3]。黑潮流域每年有大量的台风经过,台风过境过程中会发生相应的海气相互作用现象, 存在海洋向大气输送热量的过程,已有研究表明黑潮能够影响台风的强度和路径[4-5],同时台风过境也能够对海洋的海流、海表面高度、海洋涡旋等产生影响[6-9]。Chan 等[10]认为,台风还会受到海洋混合层深度和海洋垂直结构的影响,海洋混合层深度越深,台风的强度就越强。陈大可等[11]在研究中认为,海洋对台风的响应和反馈是最强烈的海气相互作用,并将当前国内外在海洋对台风过程的响应研究总结为以下 3 个方面: 海洋对台风的局地响应和反馈、海洋与台风的大尺度相互作用和针对台风的海洋多源数据同化和预报模式的发展。

本文以台风"威尔逊"为例,运用时间窗口追踪的方法,分析东海黑潮表层流场分布特征和海面高度异常值(Sea Level Anomaly, 以下简称 *SLA*)对应关系的季节性变化特征及其产生到衰亡期间对东海黑潮流域海面高度异常和摩擦深度等的影响。为进一步掌握台风过境过程中东海黑潮流域的海洋环境特征分析以及在该区域的军事活动开展提供参考。

1 数据及方法

1.1 数据来源

本文所使用的数据有海表面高度、风场数据以及浮标观测数据,其中海表面高度数据和风场数据分别由 AVISO 和 QuickScat 提供, 浮标数据为 2000—2009 年收集的研究区域(20 °S~60 °N,90 °E~180 °E)的 4 710 个 Argos 浮标数据资料。本文重点关注东海海域(20 °S~60 °N,90 °E~180 °E),研究中统一采用墨卡托投影作为绘图投影方法,以 0.25°×0.25°为空间分辨率。

1.2 基本理论方法

艾克曼风生海流理论中提到,风应力直接作用在海表面并借助水平湍切应力向深层传递动量引起海水运动,同时,海水运动还受到科氏力作用[12]。所以,当风场稳定时,湍切应力与科氏力取得平衡时,海流将趋于稳定状态。此时海表流场的运动状

收稿日期:2019-06-18
作者简介:张磊(1972-),男,硕士,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为海洋科学。E-mail:stone333@tom.com

态可由式(1)来表示:

$$\left.\begin{aligned}0&=2\omega\sin\varphi\cdot v+\frac{K_z}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\\0&=-2\omega\sin\varphi\cdot v+\frac{K_z}{\rho}\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\end{aligned}\right\}\tag{1}$$

式中:ω 表示地球自转角速度;φ 表示纬度;v 表示流速;ρ 表示海水密度。假定风只沿 y 轴方向吹,则风应力可表示为:

$$\tau_y=K_z\frac{\partial u}{\partial z},\ \tau_x=0\tag{2}$$

在无限深处,由式(2)可得式(1)的解为:

$$\left.\begin{aligned}u&=V_0\exp(az)\cos(45°+az)\\v&=V_0\exp(az)\sin(45°+az)\end{aligned}\right\}\tag{3}$$

$$a^2=\frac{\rho\omega\sin\varphi}{K_z}\tag{4}$$

$$V_0=\frac{\tau_y}{\sqrt{2K_z\rho\omega\sin\phi}}\tag{5}$$

上述运动方程说明风场所引起的海流在 x 与 y 方向的速度分量都是深度的函数,也反映了流速会随深度的增大而指数减小,伴随深度的变化,流向发生变化。

海表面流速 v_0,由式(3)~式(5)可见,流速与海面上风应力成正比,也与湍流滞系量 K_z 和地理纬度 φ 有关。合成流向与轴的夹角为 45°,即向右偏于风矢量方向 45°。

同时,风海流的产生会导致海水的体积输运,在风生海流理论的基础上,可以得出海流在与方向不同的体积输运总量如下:

$$\left.\begin{aligned}M_x&=\int_0^{-\infty}u\mathrm{d}z=\frac{\tau_y}{2\omega\sin\phi}\\M_y&=\int_0^{-\infty}v\mathrm{d}z=0\end{aligned}\right\}\tag{6}$$

由此可得出,风生海流的体积输运只在 x 方向上存在。然而事实上,世界海洋的深度是有限且有界的,同时风场也并不是均匀与稳定的,因此,浅海风海流的体积输运在 x 与 y 方向上都是存在的。而且,由于风场的不均匀稳定,风海流的体积输运将会导致海水在某些海域或者岸边发生辐散或者辐聚。

2 实验与分析

2.1 台风个例的选择及分析

由图 1 可以看出"威马逊"台风自 2002 年 6 月 28 日于(10 °N,138 °E)区域生成,随后逐渐向西北移动并发展,在 7 月 3–4 日到达东海黑潮附近海域时强度达到最大并开始登陆我国浙江福建一带,然后强度衰减并转向北上,最后于 7 月 6 日于(39 °N,130 °E)区域衰亡。此次台风过程较长、强度较大、途径黑潮流域,可以作为分析黑潮 SLA 对台风过程响应个例。

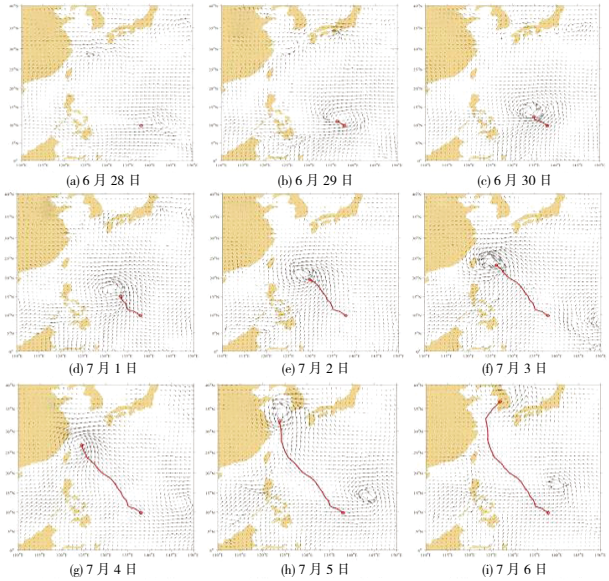


图 1 "威马逊"台风过程中海表面 10 m 风场逐日变化

2.2 台风过程中黑潮流域 *SLA* 的变化

由图 2 所示的"威马逊"台风过境时的海表面高度异常,可以看出在台风移动过程中,台风中心经过海域的 *SLA* 主要呈现出负值,其中台风中心经过的东海黑潮以及宫古海峡位置都出现了明显的负值区,这说明台风过程会改变东海黑潮海域的 *SLA* 分布场特征,进而对应的流场分布特征也发生改变。根据 *SLA* 与黑潮之间的对应关系可见,在台风过程中东海黑潮尤其是宫古海峡附近海域的表层流场受到台风的影响,呈现气旋型分布。强烈的气旋型风场势必造成台风经过海域的海水辐散,下层海水对上层进行补充,进而形成上升流。在台风逐渐移动的过程中,气旋型风场逐渐靠近选定单点,在过程中逐渐产生海水辐散,从而造成 *SLA* 降低;而风速恢复速度明显低于 *SLA* 的恢复速度也说明上升流流速缓慢,补偿时间较长。

2.3 台风过程中黑潮流域摩擦深度的响应变化

由上文的分析结果可知,台风过程中东海黑潮海域的 *SLA* 发生明显降低。再根据艾克曼风生海流理论的分析,在台风过程中,台风作为一个气旋型涡旋对海洋表层海流产生直接影响,表层风海流同

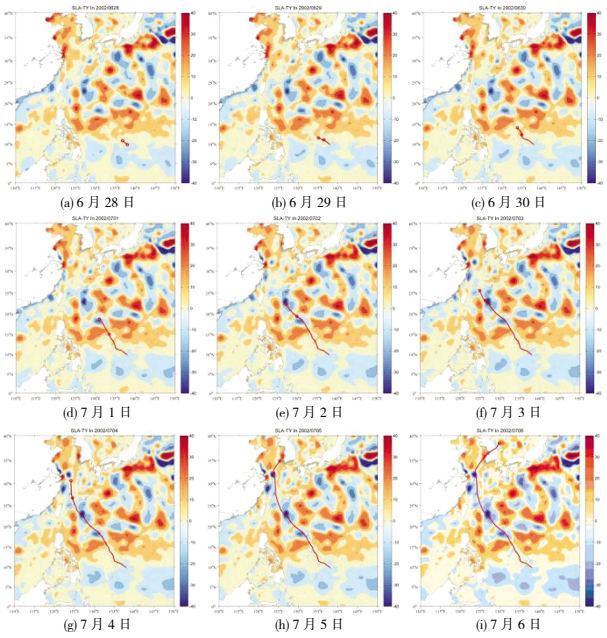


图 2　“威马逊”台风过程中 *SLA* 逐日变化

样呈气旋型流动,导致海水发生辐散,即在台风经过区域产生海水向外的体积输运,造成海面降低,具体表现就是 *SLA* 的降低,而 *SLA* 与东海黑潮表层流场之间存在着明显的对应关系,*SLA* 值的变化反映了台风过境对东海黑潮表层流场造成明显的扰动,使得东海黑潮在宫古海峡附近海域的流场发生明显变化。

在此基础上,以风生海流理论为基础,建立一个台风过境时海表面响应模型,具体如图 3 所示。

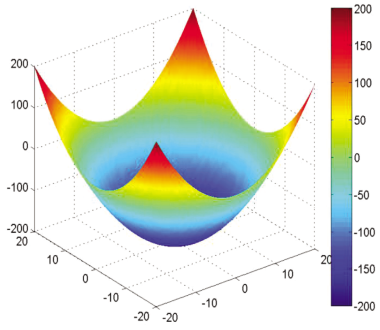


图 3　台风中心经过海面变化模型图

在台风中心经过某海域海面时,该海域 10 m 风场呈气旋型分布特征,而风场对海面产生摩擦,摩擦深度随着风速增大而逐渐加深,而由式(6)可见,风海流导致的海水体积运输也与摩擦深度呈正比,因此,台风过程中影响海域风速逐渐增大至最大值,则摩擦深度增大至最大值,同时伴随摩擦深度的增大,海水的体积输运量增大并达到最大值,进而导致海水辐散,海平面下降,表现为 *SLA* 出现下降。但同时,由于风场数据的分辨率并不能达到满足对台风中心点的风速及艾克曼层的计算,因此单点风场数据实际上是台风中心周围点的数据。事实上,在台风中心由于低压控制,中心区域的风场较小,甚至有时候能达到海面无风的情况,在中心点位置的艾克曼层即摩擦深度也非常小,但中心海域周围单点的风速则极大,因此产生的海水体积输运量也是极大的,对应的摩擦深度在台风经过时也极大,*SLA* 发生大幅下降。之后,随着台风中心的继续移动,风速逐渐降低,且风场由之前的气旋型涡旋逐渐改变,风场能够影响达到的摩擦深度逐渐减小,造成的海水辐散逐渐减小,因此海水向外的体积输运也随着减小,*SLA* 降低的速率逐渐减小并最后开始回升,同时风场对海水流场的影响深度,即摩擦深度也随着风速减小而减小。因此,*SLA* 的变化主要是由于气旋型风场导致海水发生向外的体积输运导致的,而体积输运量的多少则是由风场对海洋的影响作用深度即摩擦深度所决定的。由图 4 可见,随着台风的发展移动,在 7 月 3 日,台风经过(23.2 °N,126.3 °E)至(25.5 °N,124.9 °E)区域,选定海域的摩擦深度在 7 月 3 日达到了整个台风过程中的最大值,之后摩擦深度逐渐减小,并在 7 月 6 日基本恢复至同 6 月 28 日时台风还未对选定海域造成影响时的程度。

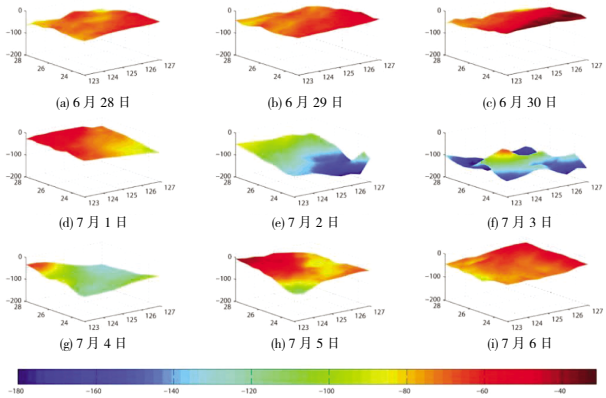


图 4　台风过程中摩擦深度变化三维曲面

注:空间范围(23 °N,28 °N),(123 °E,127 °E)

3　结论及讨论

本文选取 2002 年 6 月 28 日至 2002 年 7 月 3 日发生的“威马逊”台风作为台风个例,分析台风过程中 10 m 风场、海表面高度以及摩擦深度等相关

要素的变化特征,具体总结如下:

(1) 随着台风路径逐渐靠近东海黑潮的过程,*SLA* 降低幅度逐渐减小, 降低至最小值后逐渐回升,但回升速度缓慢;

(2) 造成 *SLA* 降低的原因可能是由于强烈的气旋性涡旋造成海水辐散,进而形成上升流,而风速恢复速度明显低于 *SLA* 的恢复速度也说明可能是由于上升流对经过区域补偿的时间较长。

(3) 同时, 利用风生海流理论下建立的响应模型,模拟得出了在风生海流理论下台风过程中受气旋式风场的影响台风中心位置摩擦深度达到极大值,东海黑潮受影响海域 *SLA* 发生降低并形成负极值的分布特征。

当然,限于作者所掌握的数据有限,本文仅选取了"威马逊"台风个例作为分析对象,实验结论还需要更多的台风个例进行验证,这将在下一步的工作中进行完善。

参考文献:

[1] 张瑞冰,侯一筠,刘亚豪.黑潮与东海水交换研究[J].海洋科学,2017,41(12):117-126.

[2] 杨德周,许灵静,尹宝树,等.黑潮跨陆架入侵东海年际变化的数值模拟[J].海洋与湖沼,2017,48(06):1318-1327.

[3] 张磊, 康力朝, 刘现鹏, 等. 基于 CTD 数据的东海黑潮锋特征研究[J]. 海洋技术学报, 2016, 35(3): 58-61.

[4] 周婉君,徐海明.东中国海黑潮影响热带气旋强度的观测分析和数值模拟[J].大气科学学报,2015,38(01):9-18.

[5] 周婉君. 东中国海黑潮影响热带气旋强度的观测分析及数值模拟研究[D].南京:南京信息工程大学,2013.

[6] Ginis I. Ocean response to tropical cyclone. Global perspectives on tropical cyclones, World Meteorological Organization [M]. Tech Document, WMO/TD-No, 1995, 693: 198-260.

[7] 李美琪. 中国东部海域台风海洋涡旋特征及其影响机制研究[D].南京:南京信息工程大学,2017.

[8] 令聪婧,刘磊,何伟,等.一次台风过程对西北太平洋西边界流系源区影响的数值模拟研究[J].海洋预报,2015,32(05):24-34.

[9] 赖巧珍,吴立广,SHIE Chung-lin.0908 号台风"莫拉克"登陆过程中海表温度变化特点及其对"莫拉克"的影响[J].热带气象学报,2013,29(02):221-234.

[10] Chan C L, Duan Y, Shay L K. Tropical cyclone intensity change from a simple ocean atmosphere coupled model[J]. J Atmos Sci, 2001, 58:154-172.

[11] 陈大可,雷小途,王伟,等.上层海洋对台风的响应和调制机理[J].地球科学进展,2013,10:1077-1086.

[12] 田梓辰.Ekman 风海流模型参数的优化研究[J].海洋湖沼通报,2018(02):1-9.

Response of Sea Level Anomaly to Typhoon Around Kuroshio Area

ZHANG Lei, HAN Wei-tong, KANG Li-zhao

Dalian Naval Academy, Dalian 116018, *Liaoning Province, China*

Abstract: This study investigates the response characteristics of the Kuroshio in the East China Sea to the typhoon Wilson during its passing through. Sea level anomaly (*SLA*) is the main factor for analyzing the response characteristics. The response characteristics of the SLA and the friction depth in the Kuroshio area, especially in the Miyako Strait, are obtainecl by using the Ekman wind-induced current theory during the typhoon Wilson's passing through. Thestudy finds that there is seasonal variation in the correspondence between surface currents and sea Level Anomaly (*SLA*) in the Kuroshio area over the East China Sea. The surface flow corresponding to the *SLA* positive and negative extreme-value generally presents anti-cyclonic and cyclonic distribution, which can be used to effectively analyze the response characteristics of the surface flow of the Kuroshio in the East China Seaduring the typhoon's passing through. Theconclusions have important reference value for the analysis of the marine environment in the Kuroshio over the East China Sea and the military activities in this area.

Key words: Kuroshio current; typhoon; sea level anomaly