

于堃 沈新勇 张驰 等. 多时间尺度环流对台风“天鹅”(1515)突变路径的影响. 气象科学, 2020, 40(3): 333-340.

YU Kun, SHEN Xinyong, ZHANG Chi, et al. Effects of multi-time scale circulation on the sudden track of Typhoon Goni (1515).

Journal of the Meteorological Sciences, 2020, 40(3): 333-340.

多时间尺度环流对台风“天鹅”(1515) 突变路径的影响

于堃^{1,2} 沈新勇^{1,3} 张驰¹ 李小凡⁴

(1 南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,

南京 210044; 2 南京市六合区气象局, 南京 211500; 3 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 广东 珠海 519082;

4 浙江大学 地球科学学院, 杭州 310027)

摘要 利用 NCL 滤波方法将 NCEP 提供的 FNL 风场资料分离出天气尺度、准双周振荡(QBWO, Quasi-Biweekly Oscillation) 和热带季节内振荡(MJO, Madden-Julian Oscillation) 环流场, 研究不同时间尺度环流对台风“天鹅”(1515)突变路径的影响。台风路径的特征能够分3个阶段, 其中第二阶段台风发生突然转折。第一阶段, 天气尺度上台风东侧的反气旋和 QBWO 环流场中的波列共同引导台风向西偏北方向运动, 而 MJO 环流场中的引导气流作用较小; 第二阶段, 天气尺度上台风东侧的反气旋和低频环流场中台风附近的气旋共同促进了“天鹅”近 90° 的突然转向, 其中, 高、低频分量分别促使台风突然向北、向东转向; 第三阶段, 天气尺度上的气旋与反气旋、QBWO 环流场中的反气旋以及 MJO 环流场中的脊共同引导“天鹅”向东北方向运动, 其中 MJO 环流场中气旋附近的偏东风促使“天鹅”向西运动, 但由于它被天气尺度上强烈的偏西风所抵消, 故“天鹅”仍向东运动。

关键词 台风; 突变路径; 多时间尺度环流

分类号: P458.124

doi: 10.3969/2019jms.0024

文献标识码: A

Effects of multi-time scale circulation on the sudden track of Typhoon Goni(1515)

YU Kun^{1,2} SHEN Xinyong^{1,3} ZHANG Chi¹ LI Xiaofan⁴

(1 Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education / Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change / Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2 Luhe Meteorological Bureau, Nanjing 211500, China;

3 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Guangdong Zhuhai 519082, China

4 School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract The influence of different time-scale circulations on the sudden track of the Typhoon Goni (1515) was analyzed by filtering the synoptic-scale, QBWO (Quasi-Biweekly Oscillation), and MJO (Madden-Julian Oscillation) circulation fields from FNL wind field data. The moving path of Goni can be divided into three stages, and the sudden track appeared in the second stage. In the first stage, the anti-cyclone east to Goni in synoptic-scale circulation and the wave train in QBWO circulation field lead the cyclone to move towards northwest. The effect of the steering flow in MJO circulation is weak. In the

收稿日期(Received): 2019-03-31; 修改稿日期(Revised): 2019-04-18

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20100304); 国家自然科学基金资助项目(41790471; 41530427; 41975054; 41930967; 41775040); 国家重点研发计划项目(2016YFC0203301)

通信作者(Corresponding author): 沈新勇(SHEN Xinyong).shenxy@nuist.edu.cn

second stage, the anti-cyclone east to Goni in synoptic-scale circulation and the cyclone in low-frequency circulation field promote a sudden transition with a right angle of the cyclone. The synoptic-scale propagation leads Goni to transfer northward, and the low-frequency propagation leads Goni to transfer eastward. In the third stage, the anti-cyclone and the cyclone in synoptic-scale circulation field, the anti-cyclone in QBWO circulation field and the ridge in MJO circulation field lead the cyclone to move northeast. The easterly wind from the cyclone in MJO circulation field lead Goni to move westward, but Goni still moves eastward because the easterly wind is negated by strong westerly wind in synoptic-scale circulation field.

Key words typhoon; sudden track; multi-time scale circulations

引 言

台风灾害是我国的主要气象灾害之一,台风引发的强风、暴雨,致使其影响地区发生巨浪、洪涝、山体滑坡等次生灾害,每年平均有 7~8 个台风登陆我国大陆^[1-6]。李真真等^[7]发现近 20 a 来热带气旋对东南沿海地区的影响显著增加。近年来,尽管台风路径的预报准确率有很大的提高,但对突然转向的台风路径的预报准确率还不是很高^[8-9]。许多学者的研究表明,台风的突变路径与多时间尺度环流有密切的联系^[10-12]。WU, et al^[13]利用滤波方法将环流场分离成包括热带季节内振荡(Madden-Julian Oscillation, MJO, 时间尺度为 20~60 d)尺度和大气准双周振荡(Quasi-Biweekly Oscillation, 简称 QBWO, 时间尺度为 10~20 d)尺度的低频振荡以及天气尺度系统,并提出多时间尺度环流的相互作用将影响热带气旋路径突变的观点。由于多时间尺度环流的相互作用,导致影响台风移动的引导气流发生改变,从而使台风的路径发生突变,因此,本文主要研究了不同时间尺度的环流对台风突变路径的影响。

国内外许多研究表明,低频振荡对台风路径的突变产生重要影响。倪钟萍等^[14]用 Lanczos 滤波方法指出台风附近的气旋性涡旋在路径突变时的低频合成场上比较明显。Carr, et al^[5]和 WU, et al^[15]都认为台风向北或东北忽然转向与低频场上的气旋性环流有很大的联系。李崇银等^[16]研究了大气季节内振荡(ISO, 是 MJO 和 QBWO 的总和)对西北太平洋台风突变路径的影响,指出大气 ISO 对台风突变路径预报有重要参考意义。有证据显示,台风路径的突变与 QBWO 的作用息息相关^[17]。Carr, et al^[5]与 WU, et al^[13]均指出,由于台风进入 QBWO 涡旋中心,在天气尺度上,将有一个大风区在台风中心东侧约 500 km 处产生,该区域中猛烈的西南气流将致使台风突然转向。苏源等^[18]发现,在 QBWO

环流场中,台风东侧将有一个反气旋生成,而他们所发现的台风海棠(2005)东侧的反气旋则生成在天气尺度上,这说明台风与低频气旋互相作用后引起的波列的尺度可能是存在差异的。MJO 对研究台风路径的突变具有重要的意义。WU, et al^[13]通过多尺度环流分析办法进一步发现,在 MJO 气旋中心附近,也可能是 MJO 环流场中气流突变周围,以及台风接近 QBWO 气旋中心的时刻,台风总会发生东北向的忽然转向。并且对于东北转向的台风,引导气流在东西方向上的变化主要是受到 MJO 尺度系统的影响。冯涛等^[19]、陈光华等^[20]和 HUANG, et al^[21]的研究表明热带西太平洋上空大气 MJO 的不同位相相对西北太平洋上台风异常移动有很强的调制作用。

天气尺度的系统也会引起台风路径的突变^[22-23]。WU, et al^[15]通过研究发现,若天气尺度的气流忽然向北增大,则会引起全风场气流的向北加速,从而导致台风突然向北转折。倪钟萍^[24]通过对台风突变路径的分析,指出临近突变时刻,北折路径主要是天气尺度系统的引导气流起作用。陈华等^[25]通过对台风彩云(2009)的研究发现,在其突然转向的过程中,有一中纬度的小槽位于台风的西北部并不断东移,在台风由槽前进入中纬度系统后,这个小槽逐渐被下游的脊吸收并融合为一个脊,此外整个台风过程中副热带高压已明显东退。因此,由于槽和副热带高压的作用,台风突然向北偏折。Carr, et al^[5]指出若台风的西边存在明显的气旋性涡旋,在涡旋南和东南边沿的西或西南气流涌向正在向西移动的台风会引起台风忽然北折。

1 资料和方法

本文所用的主要资料包括:中国台风网提供的最佳路径数据集,美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)提供的逐 6 h FNL(Final)风场资料,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 。台风

最佳路径资料包括台风中心位置和强度(中心最低气压和最大风速)。因为引导气流是造成台风突变路径的主要原因,因此本文主要研究 500 hPa 等压面的不同时间尺度环流对台风突变路径的影响。为了更好的研究不同时间尺度环流对台风路径的影响,对 FNL 风场资料进行了 Lanczos 滤波,滤波器参数设置权重总数(nWgt) 为 481,频率(fca, fcb) 为 1/4/天数,利用高通 Lanczos 滤波滤出 10 d 以下天

气尺度高频信号,利用 Lanczos 带通滤波滤出 20~60 d 的低频信号,除去 10 d 以下(天气尺度)和 20 d 以上(MJO)信号,剩余部分为 10~20 d(QBWO)信号(如图 1 所示)。苏源等^[18]的研究利用 500 hPa 等压面上的风场来分析多时间尺度环流对“海棠”(0505)路径的影响。本文也将通过分析 500 hPa 等压面上的各时间尺度环流,讨论多时间尺度环流对“天鹅”突变路径的影响。

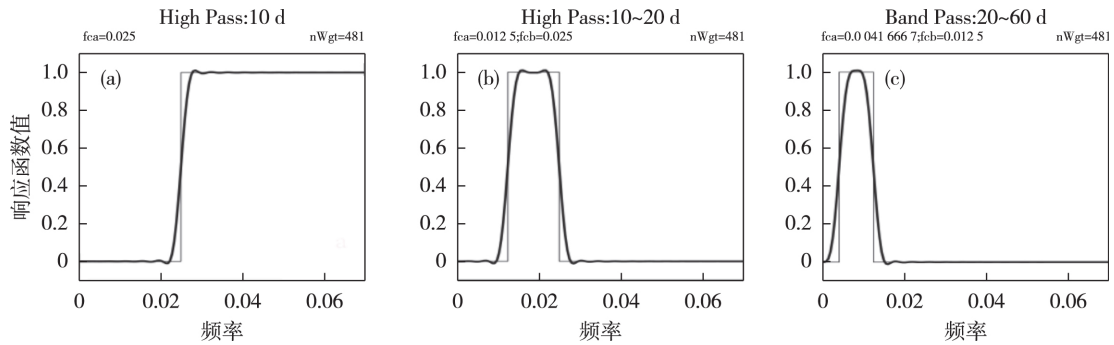


图 1 响应函数曲线: (a) 10 d 高通滤波; (b) 10~20 d 带通滤波; (c) 20~60 d

Fig.1 Response function curve: (a) 10-day high-pass filtering; (b) 10—20 day band-pass filtering; (c) 20—60 day band-pass filtering

2 台风“天鹅”特征

热带低压“天鹅”于 8 月 14 日 00 时(世界时,下同)在西太平洋洋面上生成,生成后向西偏北方向移动,并于 14 日 18 时加强为热带风暴,15 日 12 时加强为强热带风暴,16 日 12 时增强为台风,17 日 00 时加强为超强台风,18 日 00 时强度减弱至强台风,19 日 12 时再次加强为超强台风,20 日 12 时减弱至强台风。21 日 12 时之后台风以近 90°角转向,向东北方向移动,强度减弱。台风于 23 日 12 时再次加强为超强台风,中心气压 935 hPa,近中心风速 $52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,25 日 00 时减弱,并于 25 日 12 时变性。

由“天鹅”14 日 00 时—25 日 12 时的强度变化(图 2)可知,“天鹅”经历了 3 次加强、3 次减弱,且 3 次加强都到达了超强台风级别,分别是 17 日上午、19 日晚上和 23 日晚上,中心附近最大风力均曾高达 16 级($51 \sim 56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),这种变化在历史上相对少见。

从路径图(图 3)可以发现,“天鹅”在西北太平洋生成后,先是向西偏北方向移动,并于 21 日 12 时以近 90°直角突然向北转折,转折期间移动速度变慢,之后向东北方向移动,逐步向台湾东部到琉球群岛一带海域接近,影响我国东南沿海。

由于“天鹅”在 21 日 12 时从向西偏北方向运动转变为向东北方向运动,因此,本文将其运动分

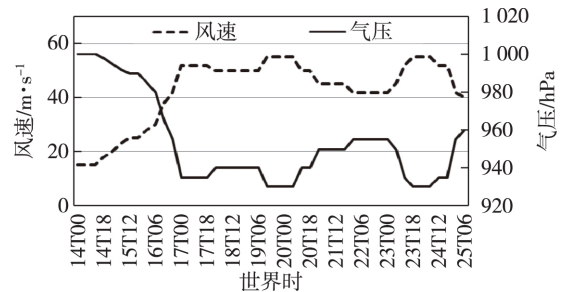


图 2 “天鹅”逐 6 h 风速和气压变化
Fig.2 Wind speed and pressure change of Goni by 6 hours

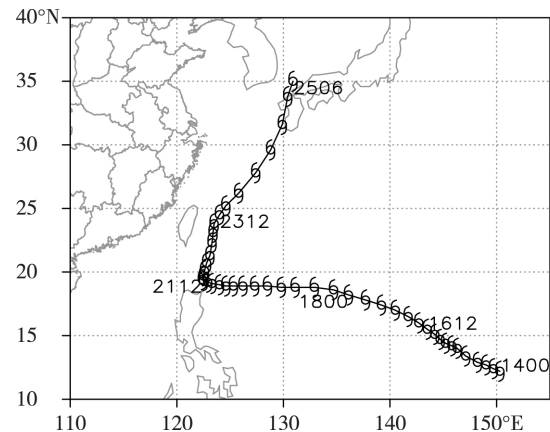


图 3 14 日 00 时—25 日 06 时“天鹅”路径
(时间间隔 6 h; 图中数字表示时间)
Fig.3 The path of Goni by 6 hours from 0000 UTC on 14 Aug. to 0600 UTC on 25 Aug. (the numbers represent the time)

为 3 个阶段:第一阶段是从 14 日 00 时—20 日 12 时

(向西偏北方向运动);第二阶段是从 20 日 12 时—23 日 00 时(向北产生近 90°直角的转折);第三阶段是从 23 日 00 时—25 日 12 时(向东北运动),经过分析不同时间尺度环流在 3 个阶段的变化特征,揭示它们对台风突变路径的影响。

3 多时间尺度环流对“天鹅”突变路径的影响

Carr, et al^[5]的研究指出台风与低频环流场之间的相互作用也会导致台风路径的突然改变,他们应用正压涡旋模式发现,台风与季风涡旋的相互作用可能会引起台风忽然向西减速和连续的向北加速。当台风与季风涡旋的距离不断减小,并最终合并在一起后,台风将可能突然向北转向,这主要是因为两者合并之后,时间空间尺度比较大,但强度相对较弱的季风涡旋由于 Rossby 波频散作用,在台风的东侧或东南侧形成一个明显的脊,并且由此产生一个大风区,从而引导台风突然向北运动。WU, et al^[13]进一步研究发现,台风的东北转向总发生在 MJO 气旋中心附近, MJO 环流场中气流突变点附近,以及台风接近 QBWO 气旋中心的时候。台风东北转向也可能受到天气尺度上台风东侧或东南侧的大风区以及与其相配合的 MJO 环流场的影响,这表明台风的运动与多时间尺度环流之间有亲密的联系。

3.1 第一阶段(14 日 00 时—20 日 12 时)

由于在第一阶段影响“天鹅”运动的各时间尺度环流特征基本保持稳定,因此将选取其中一个时刻进行分析。图 4 是通过时间滤波后的 18 日 12 时 500 hPa 等压面上“天鹅”周围的天气尺度、QBWO 和 MJO 风场。从天气尺度风场(图 4a)中可以看出,在台风的东偏北方向有一个反气旋生成,反气旋底部的东南风促使台风向西偏北方向运动。在

QBWO 环流场(图 4b)中,“天鹅”西侧有一个气旋逐步生成,台风在接近的过程中始终位于该气旋中心的东侧,猛烈的偏南风促使台风一直向北运动。与此同时,“天鹅”的东侧有一气旋生成,与东北侧的反气旋组成了一个波列,在环流周围形成了大风区,猛烈的东风气流引导“天鹅”向西运动。由 MJO 环流场(图 4c)可知,台风以北为偏东风,台风以南为偏西风,因此, MJO 尺度的风场对“天鹅”在这一阶段的运动影响较小。

综上,在“天鹅”运动的第一阶段,影响环流向西偏北运动的系统主要是天气尺度上的反气旋和 QBWO 环流场中的波列,而在这一阶段 MJO 环流场对台风的路径几乎不产生影响。

3.2 第二阶段(20 日 12 时—23 日 00 时)

“天鹅”于 21 日 12 时发生近 90°的突然转折,从西偏北方向的运动转为东北向的运动,因此绘制此时刻 500 hPa 等压面上的风场图,从而分析多时间尺度环流对天鹅突变路径的影响。WU, et al^[13]发现,若台风发生东北转向,在东西方向上引导气流的变动主要受到 MJO 尺度分量的影响;而南北方向上,全风场引导气流也会随着天气尺度引导气流的忽然增大始终向北加速。因此,天气尺度引导气流是导致全风场引导气流忽然的向北加速的主要原因。正如本文所分析,随着台风中心向 QBWO 气旋中心接近,天气尺度环流场(图 5a)中,有一个反气旋在环流东侧生成,在南北方向上,猛烈的偏南风促使台风环流向北移动。虽然“天鹅”的北侧也有一反气旋,但其强度较东侧反气旋的强度弱,从而推动气旋向西运动的引导气流较小,因此,天气尺度的引导气流主要推动“天鹅”向北运动。Carr, et al^[5]的研究发现,当台风进入季风涡旋中心后,将有一个反气旋由于 Rossby 波的频散作用而在台风东侧或东南侧生成。这与本文天气尺度中“天鹅”

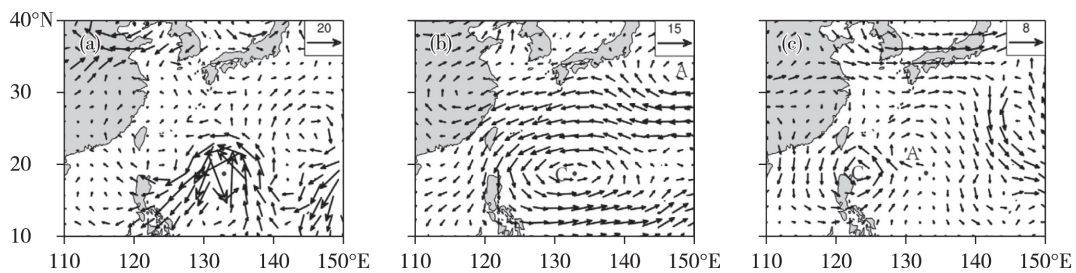


图 4 18 日 12 时 500 hPa 风场: (a) 天气尺度风场(单位: $m \cdot s^{-1}$); (b) QBWO 尺度风场(单位: $m \cdot s^{-1}$); (c) MJO 尺度风场(单位: $m \cdot s^{-1}$; 图中 A 代表反气旋中心; C 代表气旋中心; 实心圆代表台风中心的位置,下同)

Fig.4 500 hPa wind fields associated with Typhoon Goni at 1200 UTC on 18 August 2015 with closed dots indicating the typhoon center: (a) synoptic-scale winds; (b) 10—20 d bandpass filtered winds; (c) 20 d lowpass filtered winds (The character “A” indicates the center of anticyclone; the character “C” indicates the center of cyclone; the closed dots denote the typhoon center at that time; the same below)

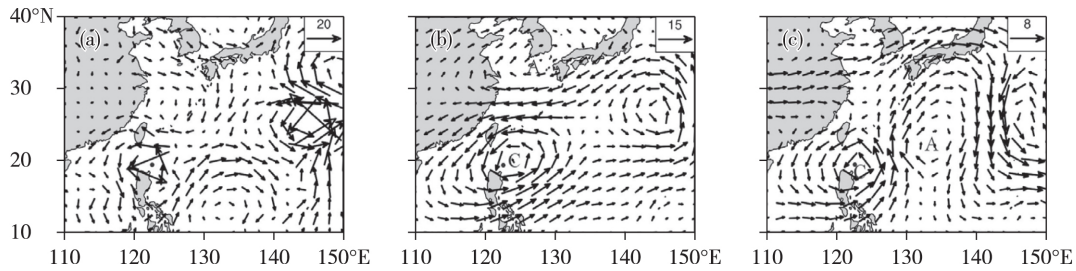


图5 21日12时500 hPa风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$): (a) 天气尺度风场; (b) QBWO尺度风场; (c) MJO尺度风场
Fig.5 500 hPa wind fields associated with Typhoon Goni at 1200 UTC on 21 August 2015 with closed dots indicating the typhoon center (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$): (a) synoptic-scale winds; (b) 10–20 d bandpass filtered winds; (c) 20 d lowpass filtered winds

东侧的反气旋生成过程极其相似,这说明台风与QBWO气旋的相互作用对于这个反气旋生成有重要影响。由低频环流场(QBWO和MJO)可知(图5b、c),台风中心逐渐向气旋中心靠近,周围盛行强烈的西风,从而在东西方向上推动天鹅向西移速减慢,最终向东移动,因此低频环流场中的引导气流作用是“天鹅”向东转向的主要原因。

综上所述,“天鹅”在此阶段发生突然的东北向的转折,起到推动作用的系统主要是天气尺度上台风东侧的反气旋和低频环流场中气旋,其中,高频分量促使台风突然向北转向,低频分量引导环流突然向东运动,因此,在该阶段由于多时间尺度环流的共同作用,“天鹅”的路径发生了近 90° 的突然转折。

由“天鹅”的路径图(图3)可知,路径于21日12时发生了近 90° 的转折,分析各时间尺度环流在台风转折期间的变化及对突然转折所产生的影响。由21日00时—22日00时的天气尺度环流场(图6a、b、c)可知,21日00时台风东侧有一个气旋存在,与北侧的反气旋组成一组波列,强烈的东风促使环流向西运动;21日12时,“天鹅”东侧的气旋消失,相反有一个反气旋生成,在南北方向上,强烈的偏南风推动台风向北移动。虽然台风北侧的反气旋依然维持,但其强度较东侧反气旋弱的多,从而推动台风向西运动的引导气流较小,因此,此时天气尺度的引导气流为偏南风,主要引导台风向北转向;22日00时,台风东侧的反气旋消失,但有一个脊生成,从而在台风东侧形成大风区,猛烈的偏南气流促使“天鹅”持续向北运动。因此,在此阶段,天气尺度引导气流的方向发生了近 90° 的转折,从而引导台风突然向北转向。在QBWO环流场(图6d、e、f)中,21日00时,台风中心附近有一个气旋存在,偏西风引导台风向东运动,但由于天气尺度波列中强烈的偏东风的作用,故QBWO环流场中的

偏西风被抵消,台风仍向西运动,但是移速减慢;21日12时,台风仍处于气旋性环流之中,强烈的偏西风引导“天鹅”向东运动;22日00时,台风东南侧又有一个反气旋生成,故台风处于西南风的大风区中,这就引导“天鹅”不断向东北方向运动。因此,在此阶段,QBWO环流场中的引导气流较为稳定,西风使天鹅向西运动减速,最终运动方向反向,转为向东的运动。MJO环流场(图6g、h、i)与QBWO环流场类似,21日00时,台风处于气旋性环流中,盛行的西风促使“天鹅”向西移速减慢;21日12时,受到偏西气流的影响,台风向东运动;22日00时,台风东移到气旋性环流所引起的大风区中,强烈的南风引导“天鹅”不断北上。因此,在此阶段,MJO尺度的引导气流使“天鹅”东西方向上的运动方向发生转变,并且之后始终引导其向北偏东方向运动。

综上,“天鹅”在转折的这一时期,不同时间尺度环流的不同阶段对其产生的影响可能是促进的,也可能是抑制的。因此,不仅天气尺度系统为台风的转向提供向北扰动,同时低频环流场所提供的背景场也会促使台风的转向。因此,台风的移动方向最终取决于哪种尺度环流对台风的引导比较强。

Carr, et al^[5]和WU, et al^[13]发现,当台风进入季风涡旋或QBWO涡旋之后,在天气尺度上,将在台风中心东侧约500 km处激发一个大风区,该区域中强烈的西南气流将引导气旋东北转向。与其类似的是,随着“天鹅”不停靠近QBWO气旋中心(图6d、e),台风东侧有一个天气尺度的反气旋生成,与台风自身的环流场组成了一个波列,造成“天鹅”东侧出现明显的大风区(图6a、b),从而推动气旋东北转向。

3.3 第三阶段(23日00时—25日12时)

“天鹅”经过近 90° 的转折后,在这一阶段持续向东北方向运动,其中不同时间尺度的环流对台风在该阶段的运动都产生了明显的促进作用。由台

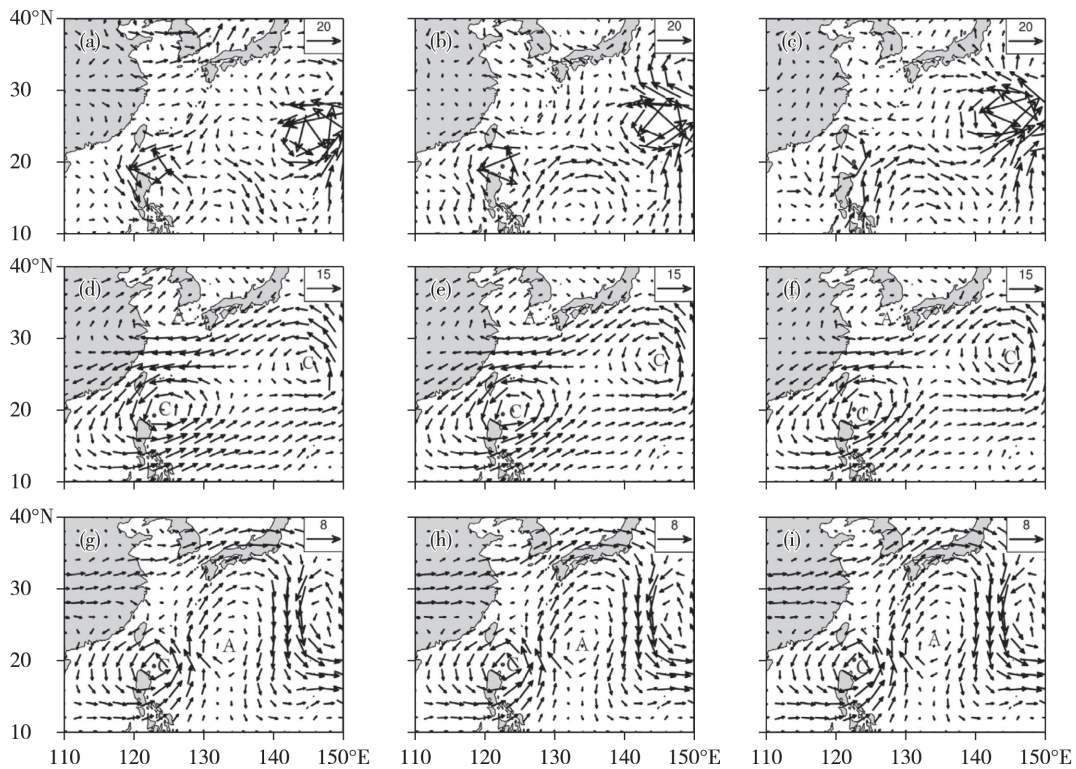


图 6 21 日 00 时 (a, d, g)、21 日 12 时 (b, e, h) 和 22 日 00 时 (c, f, i) 500 hPa 风场 (单位: $m \cdot s^{-1}$): (a, b, c) 天气尺度; (d, e, f) QBWO 尺度; (g, h, i) MJO 尺度

Fig.6 500 hPa (a, b, c) synoptic-scale wind fields; (d, e, f) 10—20 d bandpass filtered winds; (g, h, i) 20 d lowpass filtered winds at (a, d, g) 0000 UTC on 21 August, (b, e, h) 1200 UTC on 21 August and (c, f, i) 0000 UTC on 22 August, 2015 (unit: $m \cdot s^{-1}$)

风强度变化(图 2)可知,“天鹅”于 23 日晚上再次加强为超强台风,故在此阶段取比较典型的 23 日 18 时的风场进行分析。由天气尺度的环流场(图 7a)可知,在台风西偏北方向有一个气旋生成,气旋底前部的西南风气流促使“天鹅”向东北方向运动。同时,台风东侧有一个反气旋存在,持续的偏南气流推动台风向北运动。在此阶段,不仅天气尺度的风场促进了台风东北向的运动,低频环流场(MJO 和 QBWO)也为“天鹅”持续的运动提供了推动作用。从 QBWO 环流场(图 7b)中可以看出,台风东南侧存在一个反气旋,处于西南风的大风区中,从而极大地推动了“天鹅”向东北方向运动。同时,

台风东侧有 MJO 尺度的脊(图 7c),脊后有偏南风,在一定程度上也引导环流向北运动,但影响较小。“天鹅”南偏西方向有气旋性环流存在,偏东风引导台风向西运动,但是由于天气尺度上台风西部气旋性环流所引起的偏西风更强烈,故台风仍向东运动。

由此可知,在“天鹅”运动的第三阶段,影响台风向东北方向运动的系统主要是天气尺度上的气旋与反气旋, QBWO 环流场中的反气旋以及 MJO 环流场中脊,尽管 MJO 环流场中的气旋促使“天鹅”向西运动,但是它被天气尺度的偏西风所抵消,故台风仍向东运动,因此,不论是高频还是低频系统,都对“天鹅”的移动产生了重要的影响。

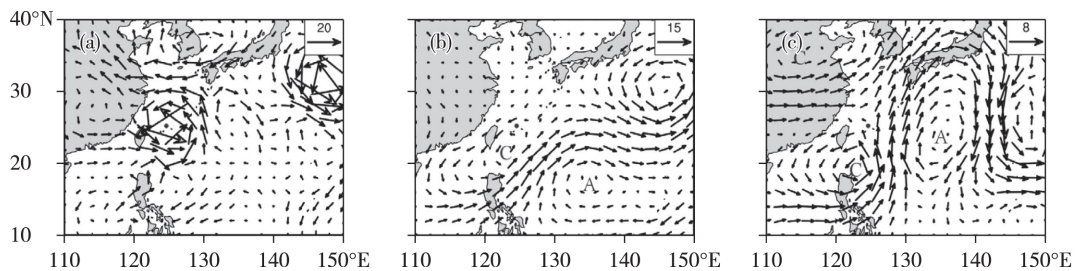


图 7 23 日 18 时 500 hPa 风场 (单位: $m \cdot s^{-1}$): (a) 天气尺度风场; (b) QBWO 尺度风场; (c) MJO 尺度风场

Fig.7 500 hPa wind fields associated with Typhoon Goni at 1800 UTC on 23 August 2015 with closed dots indicating the typhoon center: (a) synoptic-scale winds; (b) 10—20 d bandpass filtered winds; (c) 20 d lowpass filtered winds

4 结论

本文中,不仅天气尺度波列对台风“天鹅”(1515)路径的变化产生重要影响,变化较为缓慢的低频流场作用也是导致台风路径变化的主要原因,它们可能是共同促进台风路径的突变,也可能是起到相反的作用。“天鹅”运动的第一阶段,天气尺度上台风东侧的反气旋和 QBW 环流场中的波列共同引导台风向西偏北方向运动,而 MJO 环流场中的引导气流作用较小;第二阶段,天气尺度上台风东侧的反气旋和低频环流场中台风附近的气旋共同促进了“天鹅”近 90° 的突然转向,其中,高频分量促使台风突然向北转向,低频分量引导台风突然向东运动;第三阶段,天气尺度上的气旋与反气旋, QBWO 环流场中的反气旋以及 MJO 环流场中脊共同引导台风持续向东北方向运动,其中 MJO 环流场中气旋附近的偏东风促使台风向西运动,但由于它被天气尺度上强烈的偏西风所抵消,故台风仍向东运动。由此可见,台风的移动方向以及突变路径是受到多时间尺度环流共同作用的,至于台风最终的运动轨迹取决于哪种时间尺度环流对台风的引导比较强。

参 考 文 献

- [1] 陈联寿,孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展. 大气科学, 2001, 25(3): 420-432.
CHEN Lianshou, MENG Zhiyong. An overview on tropical cyclone research progress in China during the past ten years. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2001, 25(3): 420-432.
- [2] 张娇艳,吴立广,张强. 全球变暖背景下我国热带气旋灾害趋势分析. 热带气象学报, 2011, 27(4): 442-454.
ZHANG Jiaoyan, WU Liguang, ZHANG Qiang. Tropical cyclone damages in China under the background of global warming. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2011, 27(4): 442-454.
- [3] Pielke Jr R A, Gratz J, Landsea C W, et al. Normalized hurricane damage in the United States: 1900—2005. Nat. Hazards Rev., 2008, 9(1): 29-42.
- [4] ZHANG Qiang, WU Liguang, LIU Qiufeng. Tropical cyclone damages in China 1983—2006. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2009, 90(4): 489-496.
- [5] Carr III L E, Elsberry R L. Monsoonal interactions leading to sudden tropical cyclone track changes. Mon. Wea. Rev., 1995, 123(2): 265-290.
- [6] 赵海坤,吴立广. 西北太平洋热带气旋气候变化的若干研究进展. 气象科学, 2015, 35(1): 108-118.
ZHAO Haikun, WU Liguang. Review on climate change of tropical cyclone in the Northwest Pacific. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2015, 35(1): 108-118.
- [7] 李真真,吴立广,刘青元. 近 20 年影响我国台风活动变化趋势. 气象科学, 2016, 36(6): 752-759.
LI Zhenzhen, WU Liguang, LIU Qingyuan. Variation trend of typhoon activity influencing China during the past 20 years. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2016, 36(6): 752-759.
- [8] 段晶晶,吴立广,倪钟萍. 2004 年台风“艾利”与“米雷”路径异常变化分析. 气象学报, 2014, 72(1): 1-11.
DUAN Jingjing, WU Liguang, NI Zhongping. Analysis of unusual changes in Typhoon Aere (2004) and Meari (2004). Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 2014, 72(1): 1-11.
- [9] 梁佳. 季风涡旋对台风生成和路径突变的影响研究[博士论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2012: 1-131.
LIANG Jia. Study of the influences of monsoon gyres on formation and sudden track change of typhoons [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology (in Chinese), 2012: 1-131.
- [10] 尹浩,王咏青,钟玮. 西北太平洋不同路径下热带气旋快速加强统计特征及影响因子分析. 气象科学, 2016, 36(2): 194-202.
YIN Hao, WANG Yongqing, ZHONG Wei. Characteristics and influence factors of the rapid intensification of tropical cyclone with different tracks in Northwest Pacific. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2016, 36(2): 194-202.
- [11] 沈新勇,朱文达,杜佳,等. 2006 年 7—9 月的台风季节预报试验. 气象科学, 2010, 30(5): 676-683.
SHEN Xinyong, ZHU Wenda, DU Jia, et al. The seasonal forecasting experiment of typhoon from July to September of 2006. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2010, 30(5): 676-683.
- [12] 杨宇红,林振敏,沈新勇,等. “0604”台风暴雨的数值模拟与诊断研究. 气象科学, 2009, 29(1): 71-76.
YANG Yuhong, LIN Zhenmin, SHEN Xinyong, et al. The numerical simulation of Typhoon No. 200604 (Bilis) rainstorm. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2009, 29(1): 71-76.
- [13] WU Liguang, ZONG Huijun, LIANG Jia. Observational analysis of sudden tropical cyclone track changes in the vicinity of the East China Sea. J. Atmos. Sci., 2011, 68(12): 3012-3031.
- [14] 倪钟萍,吴立广,张玲. 2005—2010 年台风突变路径的预报误差及其环流背景. 气象, 2013, 39(6): 719-727.
NI Zhongping, WU Liguang, ZHANG Ling. Analysis on forecasting errors and associated circulations of sudden typhoon track changes during 2005—2010. Meteorological Monthly (in Chinese), 2013, 39(6): 719-727.
- [15] WU Liguang, LIANG Jia, WU C C. Monsoonal influence on Typhoon Morakot (2009). Part I: observational analysis. J. Atmos. Sci., 2011, 68(10): 2208-2221.

- [16] 李崇银, 潘静, 田华, 等. 西北太平洋台风活动与大气季节内振荡. 气象, 2012, 38(1): 1-16.
LI Chongyin, PAN Jing, TIAN Hua, et al. Typhoon activities over the western North Pacific and atmospheric intraseasonal oscillation. Meteorological Monthly (in Chinese), 2012, 38(1): 1-16.
- [17] 何洁琳, 段安民, 覃卫坚. 热带大气季节内振荡与西北太平洋热带气旋活动的季节预测: 统计事实研究. 气候与环境研究, 2013, 18(1): 101-110.
HE Jielin, DUAN Anmin, QIN Weijian. Statistics on the modulation of Madden-Julian oscillation on tropical cyclone activity in the western North Pacific. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 2013, 18(1): 101-110.
- [18] 苏源, 吴立广. 多时间尺度环流对热带气旋海棠(0505)路径的影响. 气象科学, 2011, 31(3): 237-246.
SU Yuan, WU Liguang. Analysis of the multi-time scale circulation influences on the track of tropical cyclone Haitang (0505). Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2011, 31(3): 237-246.
- [19] 冯涛, 黄荣辉, 陈光华, 等. 近年来关于西北太平洋热带气旋和台风活动的气候学研究进展. 大气科学, 2013, 37(2): 364-382.
FENG Tao, HUANG Ronghui, CHEN Guanghua, et al. Progress in recent climatological research on tropical cyclone activity over the western North Pacific. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2013, 37(2): 364-382.
- [20] 陈光华, 黄荣辉. 西北太平洋低频振荡对热带气旋生成的动力作用及其物理机制. 大气科学, 2009, 33(2): 205-214.
CHEN Guanghua, HUANG Ronghui. Dynamical effects of low frequency oscillation on tropical cyclogenesis over the western North Pacific and the physical mechanisms. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2009, 33(2): 205-214.
- [21] HUANG Ping, CHOU C, HUANG Ronghui. Seasonal modulation of tropical intraseasonal oscillations on tropical cyclone geneses in the western North Pacific. J. Climate, 2011, 24(24): 6339-6352.
- [22] 雷小途, 陈联寿. 热带气旋与中纬度环流系统相互作用的研究进展. 热带气象学报, 2001, 17(4): 452-461.
LEI Xiaotu, CHEN Lianshou. An overview on the interaction between tropical cyclone and mid-latitude weather systems. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2001, 17(4): 452-461.
- [23] LUO Zhexian, Davidson N E, PING Fan, et al. Multiple-scale interactions affecting tropical cyclone track changes. Adv. Mech. Eng., 2011, 2011: 782590.
- [24] 倪钟萍. 台风路径突变的预报误差及机理分析[硕士论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
NI Zhongping. Analysis of the forecasting errors and the mechanisms of sudden typhoon track changes [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology (in Chinese), 2012.
- [25] 陈华, 王凯. 台风与中纬度槽的相互作用对其转向之后的路径的影响. 热带气象学报, 2015, 31(2): 145-152.
CHEN Hua, WANG Kai. The impacts of interaction of typhoon with midlatitude trough on its track after recurvature. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 2015, 31(2): 145-152.