

2018年3个登陆北上台风长期维持环境条件分析

王亚男^{1,2}, 苏杭^{1,2}, 易笑园³

(1. 天津海洋中心气象台, 天津 300074; 2. 天津市海洋气象重点实验室, 天津 300074; 3. 天津市气象台, 天津 300074)

摘 要: 使用中国气象局热带气旋最佳路径数据集和美国国家环境预报中心再分析资料, 分析了2018年3个登陆北上台风的长期维持环境背景及热力和动力条件。结果表明: 在较低纬度时, 垂直风切变 ≤ 10 m/s, 副热带高压呈块状分布, 其西脊点一般不超过 120°E , 且西风槽位置整体偏北, 台风主要受副热带高压外围偏南引导气流影响, 路径大多在平原, 摩擦耗散较小, 配合南亚高压东侧反气旋环流第三象限辐散和低空强度相当的辐合条件以及西南和东南暖湿输送影响, 台风中心附近平均涡度减弱缓慢; 当北上受高空急流影响的垂直风切变增大时, 低空出现明显湿能量辐合, 有明显积云对流发展和高层凝结潜热释放, 且受高空急流入口区影响, 高空辐散也增强, 利于台风登陆后期的维持。

关键词: 台风; 登陆北上; 长期维持; 环境背景; 热力动力诊断; 合成分析

中图分类号: P457.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2023)04-0097-10

0 引言

台风在登陆后, 其威力总体是减弱消亡的。但是, 有的登陆台风却能在陆面维持数天, 而严重的台风灾害往往是由这些台风造成的, 如历史上著名的“75·8”河南特大洪水, 夺取了数十万人的生命^[1]。2018年, 3个台风在我国杭州湾附近登陆北上, 给我我国东部沿海地区造成严重的风雨影响, 其中, 1818号台风“温比亚”在登陆后带来大范围的暴雨和特大暴雨^[2-4], 其在河南引发的特大暴雨为40年来罕见^[3], 台风过程平均降水量也创下山东1951年以来历史最高记录^[4], 1814号台风“摩羯”和1818号台风“温比亚”也引发了龙卷灾害^[5-6]。

判断台风登陆后能否长期维持是进行台风及其次生灾害天气预报的基础。目前, 国内学者已对台风登陆后维持的环境背景和成因等进行了一些研究。例如, 李英等^[1, 7]通过对历史个例的合成诊断分析总结出台风登陆长久维持的大尺度和次天气尺度环流特征, 如从移动趋势、水汽通道的连结、斜

压锋区的关系和高空流出气流等特征, 可初步判断台风登陆后能否长期维持, 并通过数值模拟的方法, 重点分析了水汽输送和湿地边界层热通量对台风登陆后维持的影响^[8-9]; 王黎娟等^[10]分析了台风“榴莲”发展维持的环境场; 黄滢等^[11]对台风“威马逊”登陆后长时间维持的原因进行了天气学和动力学诊断分析; 冀春晓等^[12]使用数值研究方法对台风“麦莎”登陆后长期维持的涡动动能收支进行了诊断分析; 李启华等^[13]分析了长时间维持台风“菲特”不同发展阶段的位涡分布特征。

以上分析多是以个例研究为主。2018年, 3个台风登陆北上, 维持时间为48~72 h, 这种情况较为少见, 因此有必要对其环境条件的共性进行分析, 为以后预报相似背景下台风登陆后的维持问题提供参考。本文使用中国气象局(China Meteorological Administration, CMA)热带气旋最佳路径数据集和美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)全球再分析资料, 分析了2018年3个登陆北上维持台风的环境条件

收稿日期: 2022-04-07。

基金项目: 中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2019-008); 国家重点研发计划重点专项(2019YFC1510100)。

作者简介: 王亚男(1982-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋气象灾害预报和研究工作。E-mail: wang_ya_nan05@126.com

共性特征,并使用合成方法^[1]诊断分析热力和动力物理量场,探讨台风长期维持的成因。

1 台风概况和环流背景特征

1.1 台风概况

2018年7月18日20时(北京时,下同),1810号台风“安比”在西北太平洋洋面上生成,22日中午12时30分前后台风在上海市崇明岛沿海登陆(见图1),登陆时中心附近最大风力为10级(风速为28 m/s),中心最低气压为982 hPa。登陆后,除登陆第24 h台风中心海平面气压6 h变压为5 hPa外(见表1),其他时次6 h变压均 ≤ 2 hPa,说明台风“安比”的强度在登陆后长时间稳定维持,直至登陆60 h后变性为温带气旋。

2018年8月8日14时,1814号台风“摩羯”在台湾省花莲市东偏南方向约1 330 km的海面生成,12

日晚11时35分前后台风在浙江登陆,登陆时中心附近最大风力为10级(风速为28 m/s),中心最低气压为980 hPa。除登陆后前6 h台风中心海平面最低气压6 h变压达5 hPa外,登陆后台风中心最低气压缓慢升高,中心6 h变压为0~2 hPa,台风强度一直维持,在登陆54 h后,台风进入渤海后强度增强,6 h变压最大下降6 hPa,登陆72 h后台风逐渐减弱并消失,台风停止编号。台风登陆后路径图和台风中心6 h变压见图1和表1。

2018年8月15日11时,1818号台风“温比亚”在东海生成,并于17日04时05分登陆上海。登陆时台风强度为强热带风暴,中心附近最大风力为9级。登陆后台风中心最低气压缓慢升高,在登陆后72 h内,中心海平面气压6 h变压为0~4 hPa,台风强度维持;登陆72 h后台风进入渤海后变性为温带气旋。台风登陆后路径图和台风中心6 h变压见图1和表1。

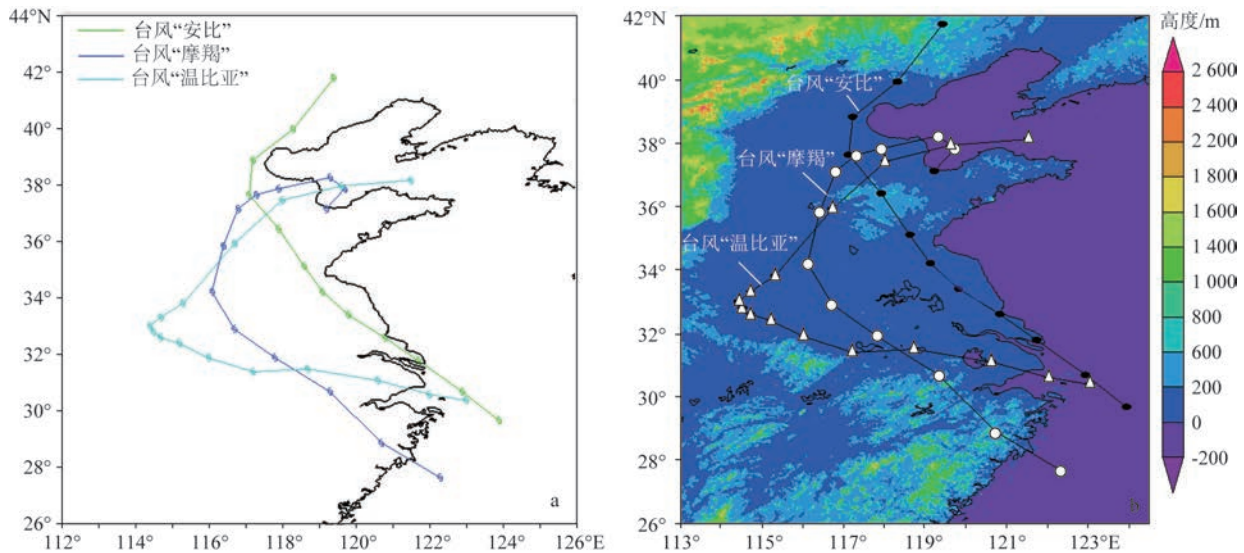


图1 3个台风登陆后路径(a)和地形高程图(b)

Fig.1 Three typhoon's tracks after landing (a) and topographic elevation (b)

表1 登陆后台风中心6 h变压(单位:hPa)

Tab.1 $6\Delta p$ in the typhoon center after landing (unit: hPa)

| 台风名称 | 登陆后时间/h | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 |
| “安比” | 2 | 3 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | — | — | — |
| “摩羯” | 5 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | -2 | -6 | 6 | 4 | — | — | — |
| “温比亚” | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | -6 | -2 | 2 | 6 |

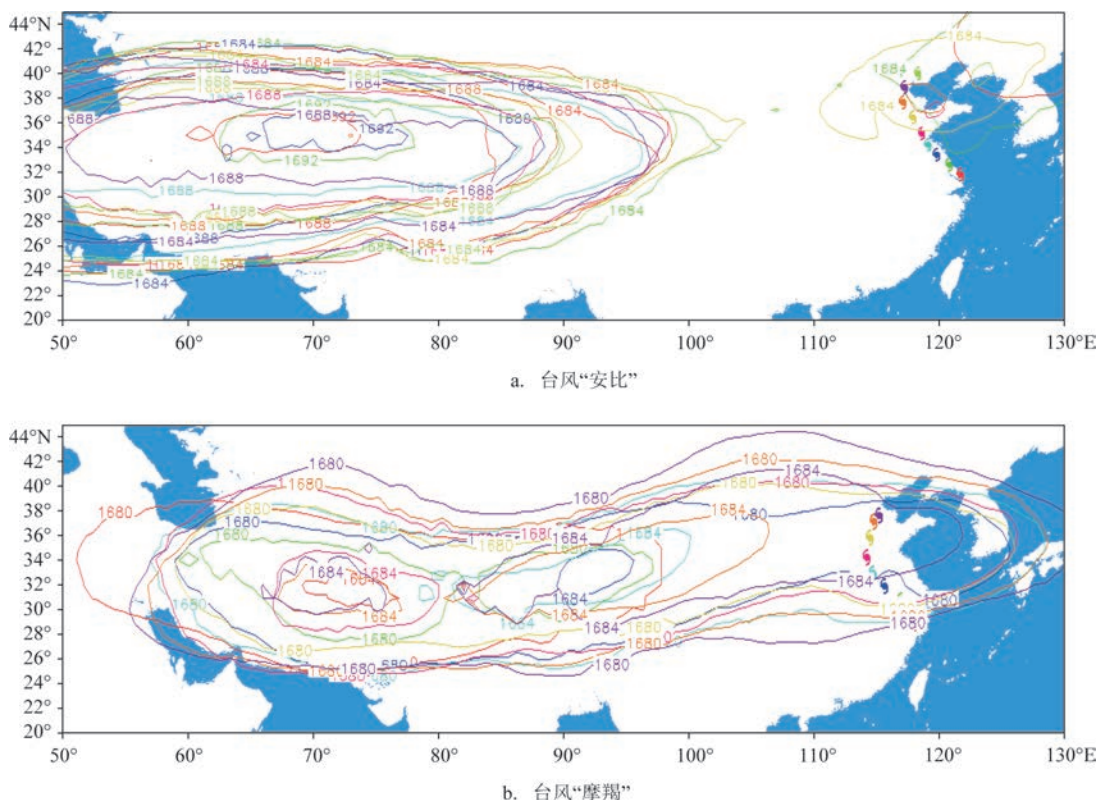
通过以上分析可以看出,1810号台风“安比”登陆后维持60 h才变性为温带气旋;1814号台风“摩羯”登陆后维持54 h,进入渤海后强度增强;1818号台风“温比亚”登陆后维持72 h,进入渤海后变性为温带气旋。3个台风在变性或入海前均在陆上维持较长时间。

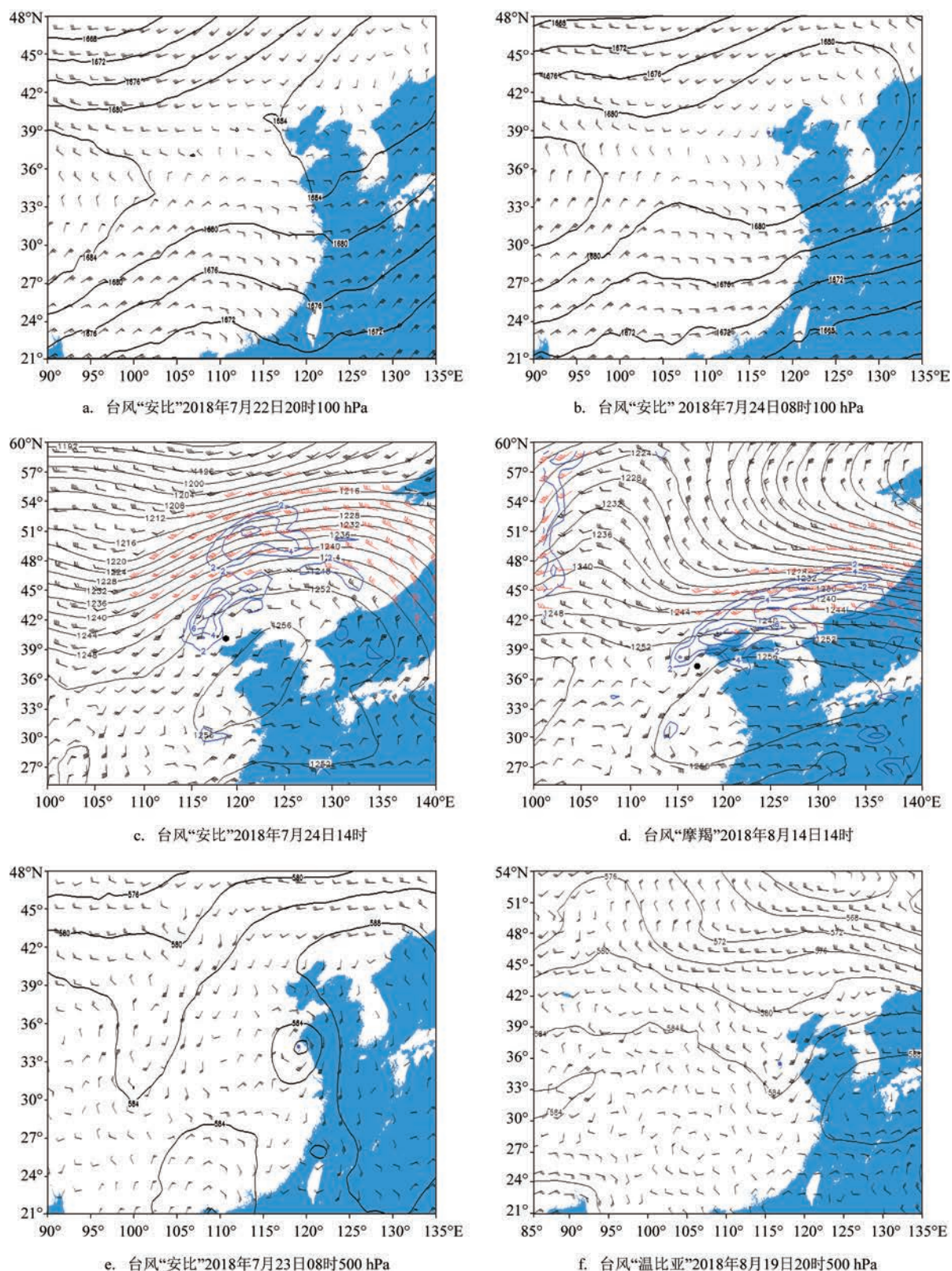
1.2 环流背景特征

图2为台风“安比”和台风“摩羯”的100 hPa形势场和台风中心位置。根据南亚高压在夏季期间变动的基本天气型^[14]分析,在台风登陆北上的过程中,台风“摩羯”(见图2b)的南亚高压呈带状型,在 $50^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 之间有两个强度相当的高压中心存在,维持时间较短;而台风“安比”(见图2a)和台风“温比亚”(图略)的南亚高压为西部型,主要高压中心在 90°E 以西,维持时间在5 d以上。台风在登陆北上的过程中,台风中心多受南亚高压内部东部反气旋环流以及南亚高压东部次级中心第三象限东/东南气流或第二象限西南气流影响(见图2和图3a—b);同

时,随着台风北上,台风中心逐渐位于高空急流入口区右侧,有一定的辐散场存在(见图3c—d)。总体来说,天气形势利于高空辐散场的出现,也利于台风的维持。

从500 hPa形势和台风中心位置来看(见图3e—f),在台风登陆初期,由于西风槽位置整体偏北且以短波槽活动为主,台风移动主要受副热带高压(简称副高)西侧引导气流影响;随着台风逐渐北上到山东半岛及其以北地区,台风逐渐与西风带短波槽合并,此时台风移动主要受副高西北侧引导气流影响。同时,从台风“安比”登陆后588 hPa等高线分布和台风中心位置来看(见图4),副高588 hPa等高线呈块状分布,西伸不明显或很少出现,其西脊点位置一般在 120°E 以东、 130°E 以西;等高线向北扩展明显,通常扩展到朝鲜半岛和日本岛以北区域(即 $34^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{N}$ 之间)。副高压的这种分布利于台风沿近岸北上。从图1台风移动路径和地形高程图来看,台风“安比”和台风“温比亚”在杭州湾以北登陆,经沿海平原北上,陆面摩擦耗散较小;而台风





注:黑色线为高度场,蓝色线为散度场,风向杆指示风向和风速(单位:m/s,大于30 m/s为红色,小于30 m/s为黑色),台风中心位置为黑色圆点或蓝色台风图标

图3 高空形势图和台风中心位置

Fig.3 Aerological diagram and typhoon center position

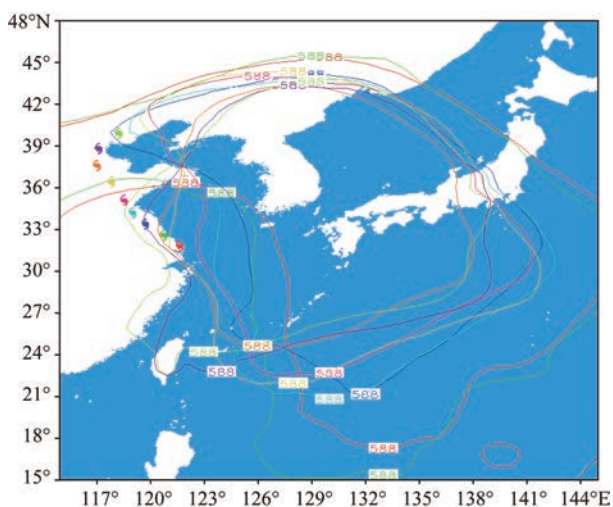


图4 台风“安比”副高 588 hPa 等高线

Fig.4 588 hPa isoheight lines of subtropical high of Typhoon "Ampil"

“摩羯”在杭州湾以南登陆,登陆初期受浙江山区影响,陆面摩擦耗散较大,登陆后 12~24 h 进入江苏和安徽平原,在继续北上的过程中,台风路径均在平原上,陆面摩擦耗散较小。总体来看,这 3 个台风登陆后的移动路径大多在平原上,陆面摩擦耗散较小,利于台风的长期维持。

图 5 为台风“温比亚”对流层低层 850 hPa 风场、水汽通量和水汽通量散度。在台风登陆后的 24 h 内,有来自台风西南侧水汽通量 $\geq 10 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$ 的西南显著气流水汽输送通道存在,并可以追踪到中国南海的赤道辐合带附近,是暖湿空气的主要输送带。在台风登陆 24 h 后,西南显著气流水汽输送通道断裂,台风东侧水汽通量 $\geq 10 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$ 的低空南—东南显著气流输送通道一直存在,此气流可追踪到台湾岛附近的东海海域。台风“安比”和

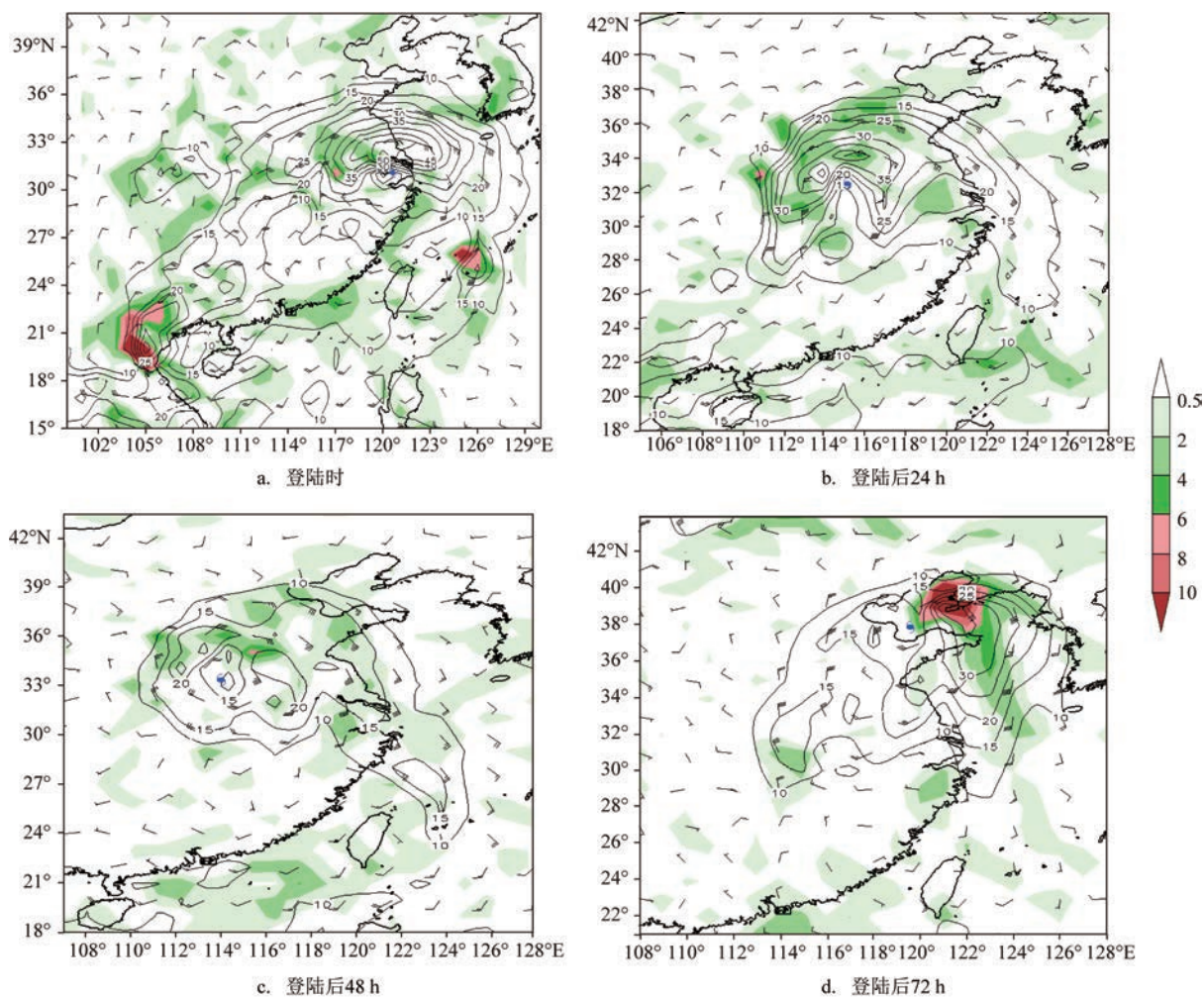


图5 台风“温比亚”850 hPa 风场、水汽通量(实线,单位: $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$)和水汽通量散度(填色,单位: $10^{-5} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$)
Fig.5 Wind field, moisture flux (solid line, unit: $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm})$) and moisture flux divergence field (shaded area, unit: $10^{-5} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$) of Typhoon "Rumbia" at 850 hPa

台风“摩羯”情况类似(图略)。总体来说,低空西南和东南输送带不断为台风补充暖湿空气,利于台风的长期维持。

2 热力动力场合成分析

2.1 涡度的演变特征

图6为过台风中心 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 格点内涡度平均垂直剖面时间变化图。从图中可以看出,台风登陆后正涡度在垂直方向上伸展高度降低,低层正涡度中心大小以及高度均呈下降趋势。登陆时正涡度中心强度约为 $2.0 \times 10^{-5} \sim 2.5 \times 10^{-5}/s$,登陆后24 h内正涡度衰减较快,衰减值约为 $0.5 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-5}/s$;

台风“安比”和台风“温比亚”在登陆24 h—变性之前,台风正涡度维持在 $1.5 \times 10^{-5}/s$ 左右。还可以注意到,在台风“安比”和台风“温比亚”变性时,低空正涡度中心有明显增强趋势,且正涡度区开始向上伸展;而台风“摩羯”在登陆36 h后,正涡度维持在 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/s$,且垂直方向上伸展高度明显升高,达200 hPa以上。

2.2 散度、总温度散度和视水汽汇

图7a中为台风中心 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 格点内散度平均垂直剖面时间变化图。对比图6和图7a可以看到,在台风登陆初期,台风涡度衰减时对应低空散度零线和散度值呈下降趋势,在台风登陆中后期,低空

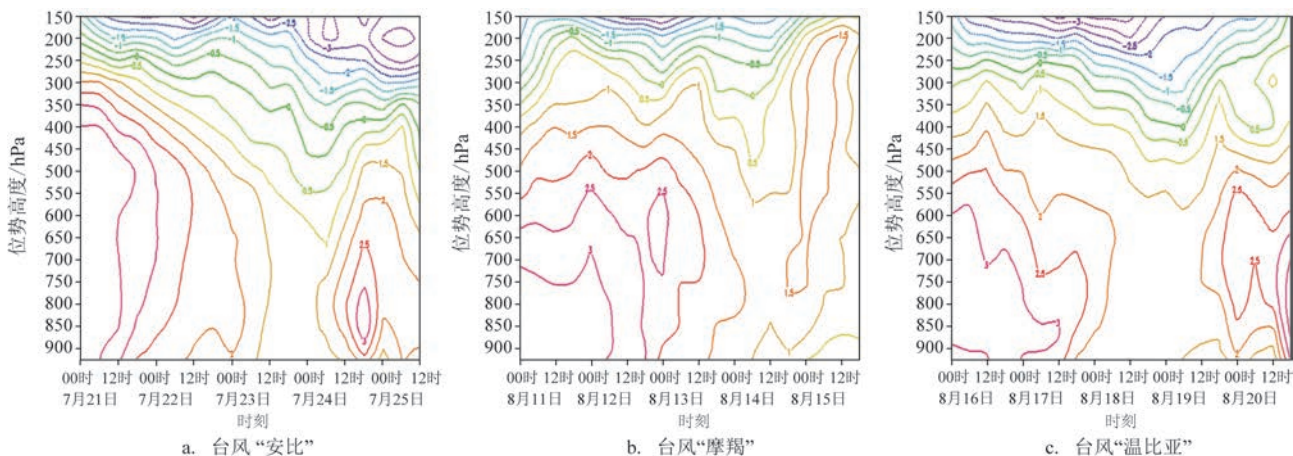


图6 过台风中心 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 格点内涡度平均垂直剖面时间演变图(单位: $10^{-5}/s$)

Fig.6 Time evolution of vertical profile of the mean vorticity in a $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ area around typhoon center (unit: $10^{-5}/s$)

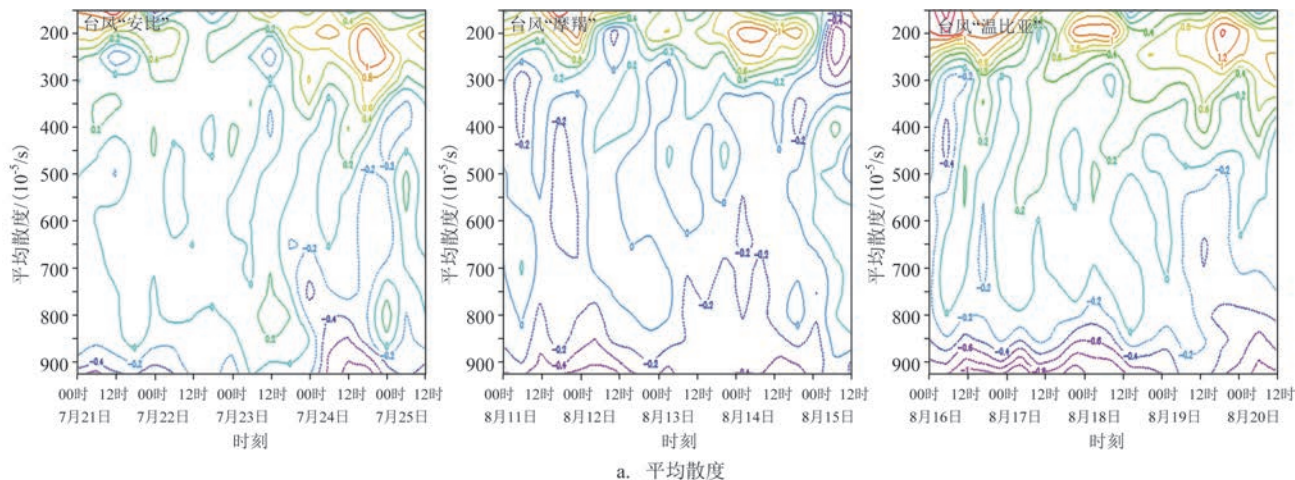


图7 台风中心 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 格点内平均散度、平均水汽通量散度、台风中心气压及一定高度下平均总温度散度、平均视水汽汇
Fig.7 Average divergence field, moisture flux divergence field, air pressure of typhoon center, average total temperature divergence at a given height, mean apparent moist sink field in a $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ area around typhoon center

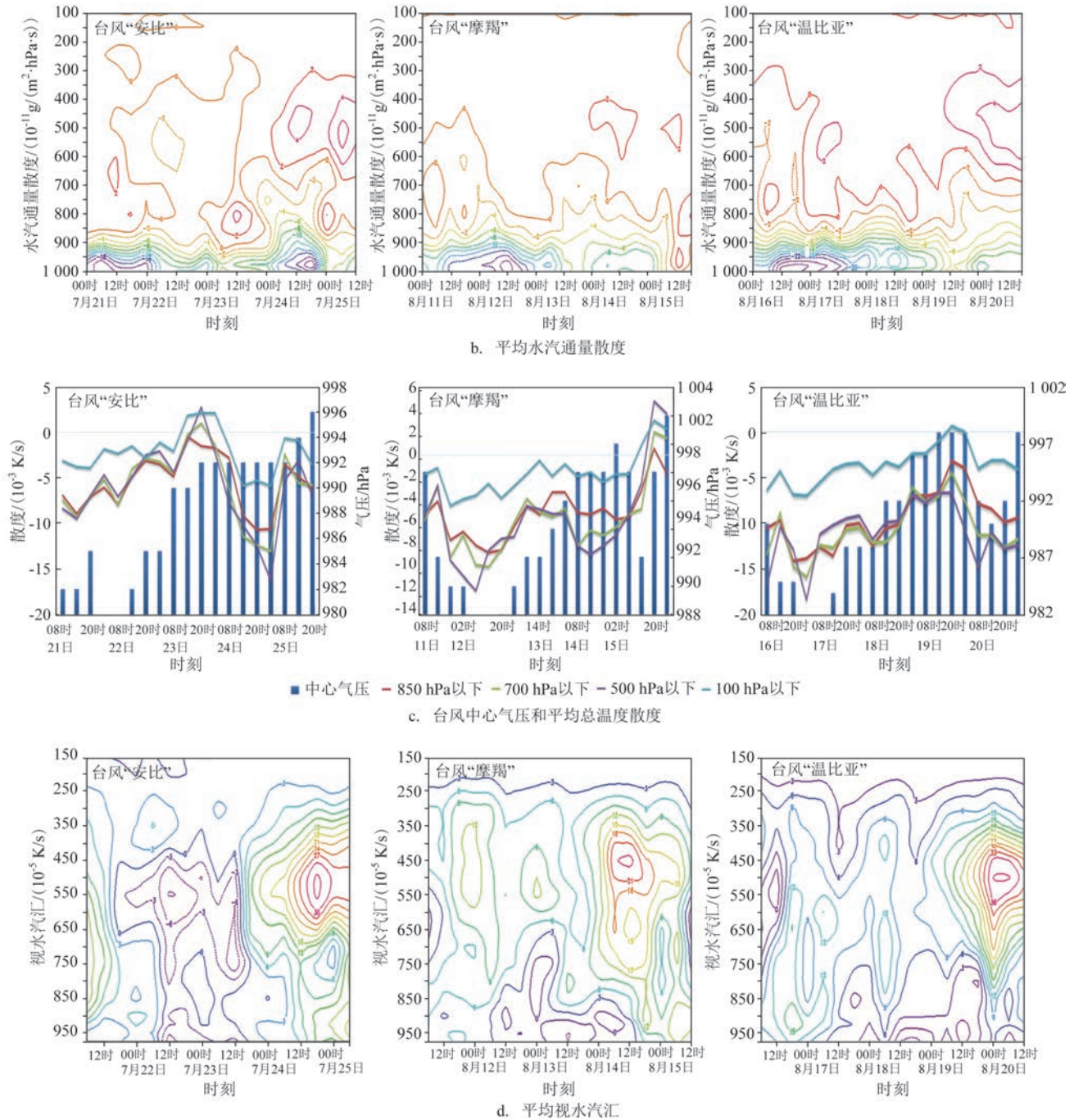


图7 (续)

Fig.7 (Continued)

涡度增加且向上发展时对应低空涡度值和零线向上发展;另外,在台风登陆后,当低空出现辐合中心时,高空一般有辐散中心出现,从强度来看,高空辐散中心强度比低空辐合中心强度强或强度相当。从以上分析可知,在台风登陆后,散度场变化趋势与涡度变化趋势具有相似性,说明涡度的变化受散

度的影响较明显,也说明适宜的散度场对台风登陆后的维持有重要作用。同时,由大气连续方程 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$ 可知,水平散度与垂直运动相联系,当低层辐合越强时,上升运动越明显。一般上升运动产生的凝结潜热释放以及热量和水汽的垂

直输送越明显,有利于台风的长期维持。

从台风中心附近 $10^\circ \times 10^\circ$ 格点内一定高度下平均总温度散度^[15]可以看到(见图7c),总温度散度辐合最强值主要集中在700 hPa(或500 hPa)以下。在台风登陆初期,总温度散度辐合呈减小趋势,低空辐合开始向上伸展并配合暖湿空气辐合增强(见图7b),总温度散度辐合呈增强趋势。在低空辐合和高空辐散最明显时刻,总温度散度辐合达极值,即上升运动最强时,配合最明显的总温度散度辐合。这说明在积云对流最强时,在低空出现明显的总温度散度辐合,即湿能量辐合,利于积云对流的发展和高层凝结潜热的释放,也利于台风中心气压的降低。但是,由于低空辐合向上发展使空气质量堆积,会抵消一部分凝结潜热释放和高空辐散造成的减压作用,台风中心气压可能保持不变或略降低。总温度(通量)散度^[15]代表总能量(包括位能、感热能和潜热能)输送的辐合辐散,反映了总能量输送的集中和分散程度。

从台风中心 $10^\circ \times 10^\circ$ 范围内平均视水汽汇垂直剖面时效图可以看到(见图7d),台风登陆后,当有低空辐合向上发展时,必伴随有视水汽汇即凝结潜热释放在相应高度附近的增大,利于台风的维持。视水汽汇包括净水汽的净凝结和水汽垂直涡动输送的垂直辐散,是空气中由于水汽变化造成的可能的潜热释放。当水汽因凝结或凝华而减少时产生潜热释放,视水汽汇为正,反之则为负。

2.3 环境垂直风切变

当垂直风切变较小时,对流层上下层空气相对运动速度很小,凝结潜热释放的能量加热同一空气柱使能量积累而形成暖心,促使台风发展。选取850 hPa和200 hPa分别代表对流层低层和高层,用低层和高层的纬向风速 u 之差表示环境风垂直切变。图8为以台风中心 $10^\circ \times 10^\circ$ 格点内平均垂直风切变时序图。从图中可以看出,在台风“安比”和台风“温比亚”登陆后66 h内以及台风“摩羯”登陆后54~66 h北上进入渤海,受高空急流影响,垂直风切变略有增大,结合对应时刻明显的总温度散度辐合和低空辐合向上发展,出现了更明显的积云垂直输送,释放了更多的凝结潜热。总体来说,3个台风在登

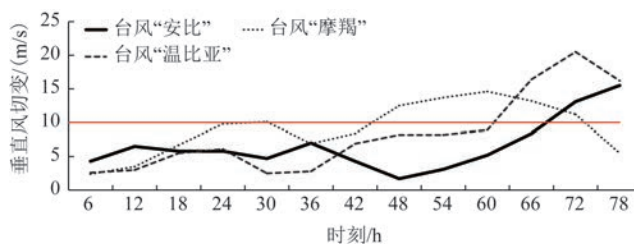


图8 台风中心 $10^\circ \times 10^\circ$ 格点平均垂直风切变时序图
Fig.8 Time series of mean vertical wind shear in a $10^\circ \times 10^\circ$ area around typhoon center

陆北上过程中,在较低纬度时,垂直风切变 ≤ 10 m/s,利于台风的长期维持,当台风北上受高空急流影响时,垂直风切变略有增大,高空辐散场明显增强并配合低空辐合,出现了更明显的热量水汽垂直输送,释放了更多的凝结潜热,利于台风在垂直风切变较大情况下的维持。

3 结论

本文使用中国气象局热带气旋最佳路径数据集和NECP再分析资料,对台风“安比”(1810)、台风“摩羯”(1814)、台风“温比亚”(1818)从杭州湾附近登陆北上长期维持的环境背景特征和热力动力条件进行了诊断分析。结果表明:

①台风在登陆初期主要受南亚高压东部反气旋环流第三象限影响,随着台风北上,逐渐位于高空急流入口区右侧,利于高空辐散场的出现,也利于台风的维持。

②在台风北上过程中,西风槽位置整体偏北且以短波槽活动为主,副高588 hPa等高线多呈块状分布,西伸不明显,其西脊点一般在 120°E 以东、 130°E 以西,向北可扩展到朝鲜半岛和日本岛以北区域即 $34^\circ \sim 44^\circ\text{N}$ 之间,利于台风沿近岸北上,移动路径大多在平原,摩擦耗散较小,利于台风的长期维持。

③台风登陆初期的低空西南输送带和登陆后期的东南输送带不断为台风带来暖湿空气补充,利于台风的长期维持。

④台风登陆后,涡度与散度变化趋势有相似性,说明适宜的散度场对台风登陆后的维持有重要作用;另外,低空辐合中心一般配合高空辐散中心出现,后者强度比前者略强或相当,且在低空出现

明显的总温度散度辐合(湿能量辐合),有明显积云对流的发展和高层凝结潜热的释放,利于台风登陆后期的维持。

⑤台风在登陆北上过程中,在较低纬度时,垂直风切变 ≤ 10 m/s,利于台风的长期维持;而当台风北上受高空急流影响时,垂直风切变略有增大,高空辐散场也明显增强并配合低空辐合,出现了更明显的热量水汽垂直输送,释放了更多的凝结潜热,利于台风在垂直风切变较大情况下的维持。

参考文献:

- [1] 李英,陈联寿,王继志. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 167-179.
LI Y, CHEN L S, WANG J Z. The diagnostic analysis on the characteristics of large scale circulation corresponding to the sustaining and decaying of tropical cyclone after it's landfall[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 167-179.
- [2] 王毅,钱燕珍,段晶晶,等. “温比亚”台风登陆前后大暴雨特征及成因分析[J]. 海洋预报, 2020, 37(3): 62-71.
WANG Y, QIAN Y Z, DUAN J J, et al. Analysis on the characteristics and reasons of the heavy rainfall caused by landfalling typhoon "Rumbia"[J]. Marine Forecasts, 2020, 37(3): 62-71.
- [3] 王军,席乐,王超杰,等. “温比亚”引发河南特大暴雨的中尺度系统特征分析[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(4): 16-23.
WANG J, XI L, WANG C J, et al. Characteristic analysis of mesoscale system of extremely heavy rainfall in Henan triggered by typhoon Rumbia[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2021, 44(4): 16-23.
- [4] 杨舒楠,端义宏. 台风温比亚(1818)降水及环境场极端性分析[J]. 应用气象学报, 2020, 31(3): 290-302.
YANG S N, DUAN Y H. Extremity analysis on the precipitation and environmental field of typhoon Rumbia in 2018[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2020, 31(3): 290-302.
- [5] 邱阳阳,程向阳,杨祖祥,等. 登陆台风“温比亚”引发的龙卷过程分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(5): 531-540.
QIU Y Y, CHENG X Y, YANG Z X, et al. Analysis of a tornado event induced by landing typhoon "Rumbia" [J]. Torrential Rain and Disasters, 2021, 40(5): 531-540.
- [6] 朱君鉴,蔡康龙,龚佃利,等. 登陆台风“摩羯”(1814)在山东引发龙卷的灾情调查与天气雷达识别[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 21-34.
ZHU J J, CAI K L, GONG D L, et al. Disaster investigation and weather radar identification of tornadoes in Shandong caused by landfalling typhoon "YAGI" (2018) [J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(4): 21-34.
- [7] 李英,陈联寿,徐祥德. 登陆热带气旋维持的次天气尺度环流特征[J]. 气象学报, 2004, 62(3): 257-268.
LI Y, CHEN L S, XU X D. The characteristics of sub-synoptic scale circulation of tropical cyclones sustaining over land[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(3): 257-268.
- [8] 李英,陈联寿,徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 91-98.
LI Y, CHEN L S, XU X D. Numerical experiments of the impact of moisture transportation on sustaining of the landfalling tropical cyclone and precipitation[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(1): 91-98.
- [9] 李英,陈联寿. 湿地边界层通量影响热带气旋登陆维持和降水的数值试验[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 683-693.
LI Y, CHEN L S. Numerical study on impacts of boundary layer fluxes over wetland on sustention and rainfall of landfalling tropical cyclone[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(5): 683-693.
- [10] 王黎娟,卢珊,管兆勇,等. 台风“榴莲”陆上维持及暴雨增幅的大尺度环流特征[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 511-521.
WANG L J, LU S, GUAN Z Y, et al. Large scale circulation features of the maintenance and increase in torrential rains from the landing typhoon durian[J]. Climatic and Environmental Research, 2010, 15(4): 511-521.
- [11] 黄滢,黄春华,林文桦. 台风“威马逊”登陆后长时间维持原因分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(4): 24-27.
HUANG Y, HUANG C H, LIN W H. Analysis of the reasons for the long-term maintenance of typhoon "Rammasun" after landing [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2019, 40(4): 24-27.
- [12] 冀春晓,陈联寿,赵放. 登陆台风 Matsa 维持机理的数值研究[J]. 气象学报, 2007, 65(6): 888-895.
JI C X, CHEN L S, ZHAO F. A numerical study on sustaining of landfalling typhoon Matsa[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2007, 65(6): 888-895.
- [13] 李启华,陆汉城,黄小刚,等. 长时间强度维持台风内核区位涡的中尺度分布特征及诊断[J]. 地球物理学报, 2019, 62(8): 2821-2834.
LI Q H, LU H C, HUANG X G, et al. Diagnosis on the characteristics of the mesoscale inner-core potential vorticity in intensity-maintaining typhoons[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2019, 62(8): 2821-2834.

Analysis of the environmental conditions for the long-term maintenance of three northward-moving typhoons after landing in 2018

WANG Yanan^{1,2}, SU Hang^{1,2}, YI Xiaoyuan³

(1. Tianjin Marine Meteorological Centre, Tianjin 300074, China; 2. Tianjin Key Laboratory for Oceanic Meteorology, Tianjin 300074, China; 3. Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074, China)

Abstract: Based on the tropical cyclone best track datasets of the China Meteorological Administration and reanalysis data of the National Centers for Environmental Prediction, the environmental thermodynamic-dynamic conditions for the long-term maintenance of three northward-moving typhoons after landing in 2018 are analyzed. It is found that, when the typhoon is at lower latitudes, the vertical wind shear is less than 10 m/s, the subtropical high is in a block shape. The west ridge point of the subtropical high generally locates east of 120°E, and the westerly trough locates north than normal position. The typhoon is mainly influenced by the southerly air flow in the periphery of the subtropical high, and its path mainly locates in the plain, so the friction dissipation is small. Combined with the divergence in the third quadrant of the anticyclone circulation east of the South Asian High and the convergence with similar strength in low-level atmosphere, as well as the southwest and southeast warm and humid supplementation, the mean vorticity near the typhoon center weakens slowly. When the typhoon is northward-moving, the vertical wind shear slightly increases affected by the high-level jet, wet energy convergence appears at the low-level atmosphere. With developing of cumulus convective and latent heat releasing in the high-level atmosphere, the divergence also increases in inlet area of the high-level jet, which benefits for the maintenance of typhoon in the later stage of landfall.

Key words: typhoon; landing and northward-movement; long-term maintenance; environmental background; thermal and dynamic diagnosis; synthetic analysis