

超强台风“威马逊”强度变化条件的诊断分析

刘家峻¹, 聂新旺¹, 梅娜¹, 王蕊², 王鑫¹, 吴晶¹

(1. 31010部队, 北京 100081; 2. 解放军理工大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

摘要: 通过对台风年鉴基本资料和NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 格点资料进行分析,总结了“威马逊”在整个生命史内的强度变化,运用天气学和动力学诊断方法,分析了“威马逊”活动的环境场特征,结果表明:“威马逊”在整个生命史内,有3个急剧增强的时刻和1个急剧减弱时刻;中低层的垂直切变与中高层垂直切变与3个急剧增强过程相关性较好,两者的急剧减小对TC的急剧增强有较强的指示意义;“威马逊”的强度变化与总水汽净流入有近似一致的关系,西边界和南边界对台风的加强具有正贡献,东边界和北边界是台风水汽流出的方向;低层的质量净流入较大,高层的质量净流出较强时,表明高低空的配合较好,有利于TC的发展。

关键词: 超强台风“威马逊”;垂直风切变;水汽净流入;质量净流入

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2016)06-0051-06

1 引言

我国是世界上受热带气旋(Tropical Cyclone, TC)影响最为严重的国家之一。统计研究表明:平均有16%的TC移到中国沿海急剧增强。但由于热带气旋强度和强度变化的复杂性^[1-2],热带气旋强度预报一直是台风预报的一个难题。于玉斌等^[3]给出了TC急剧增强的标准,分析了西北太平洋急剧增强TC的气候特征,对我国近海急剧增强和急剧减弱的两组TC进行了合成分析和对比分析。寿绍文等^[4]对爆发性发展台风的合成环境场诊断分析认为:台风爆发性发展时刻低空辐合和高层辐散均增强。胡春梅等^[5]利用美国气象环境预报中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)和美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)联合制作的NCEP/NCAR再分析资料对华南地区登陆前急剧减弱和急剧增强的TC进行了大尺度分析,研究表明急剧增强的TC位于副热带高压(简称副高)的南侧,低空辐合和高空辐散较强。于玉斌等^[6]认为对流层上部环境流场与

TC外流之间的相互作用在我国近海TC强度突变过程中可能起着至关重要的作用,倾斜位涡发展是TC急剧增强的原因。近年来国内外在TC强度变化研究方面取得了一定的进展,但仍然存在许多问题没有解决,TC强度预报仍然是一个具有挑战性的重要科学问题,台风“威马逊”生命史中最低中心气压曾达910 hPa,且3次登陆我国南海沿海地区,是建国以来登陆我国海南及大陆最强的台风之一,与2006年台风“桑美”一样,中心最大风速达60 m/s,具有近海急剧增强、中心气压特别低、风速特别大、降雨特别集中、发展迅速、移动快等特点,极易造成重大灾害。因此,分析台风“威马逊”在近海强度的变化特征及机理具有重要的意义。本文选取2014年我国南海近海急剧增强的超强台风“威马逊”,分析其强度急剧变化过程中的结构特征,为准确预报我国近海TC强度提供一定参考。

2 超强台风“威马逊”基本情况

2014年第9号台风“威马逊”于2014年7月12

收稿日期: 2015-09-15

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41605016)。

作者简介: 刘家峻(1981-),女,工程师,硕士,主要从事暴雨预报及集合预报研究。E-mail: liujiajun81@sohu.com

通讯作者: 王蕊(1984-),女,讲师,博士,主要从事大气探测、海洋遥感、卫星数据处理方面的研究。E-mail: wangruissw@126.com

日 14 时(北京时,下同)在关岛以西约 250 km 的洋面上生成,生成后向偏西方向移动。15 日 14 时增强为强台风,并于 15 日 18 时 20 分在菲律宾中部登陆,随后强度减弱为台风,16 日上午进入南海,并转为向西北方西移动,增长速度缓慢。17 日上午开始,在海南岛附近强度迅速增强为超强台风,并于 18 日 15 时 30 分左右在海南文昌市翁田镇沿海登陆,登陆时中心气压为 910 hPa,中心附近最大风速为 60 m/s,强度为登陆华南台风所罕见。之后强度维持直至 18 日 19 时 30 分左右在广东徐闻县龙塘镇沿海再次登陆,并与 19 日 07 时 10 分前后在广西壮族自治区防城港市光坡镇沿海地区第三次登陆,登陆后移入广西境内,20 日 08 时减弱为低气压,并逐渐消散于云南东南部。

3 资料和方法

本文利用每日 4 次的 NCEP/NCAR 再分析资料(水平分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$,垂直方向为 1 000—100 hPa,共 26 层),对超强台风“威马逊”强度变化的环境条件和动力学方面进行分析和研究。

TC 强度变化用每一时次 6 h 变压(Δp)和每一时次 TC 近中心地面最大风速 12 h 风速变化(ΔV)表示。若 $\Delta p < 0$ hPa/6h 则为增强样本,反之为减弱样本; $\Delta V(I+1) > 0$ 为增强样本,表示 $(I+1)$ 时刻 TC 增强,反之为减弱样本。于玉斌等^[3]应用 1949—2003 年共 55 a 的资料,利用 TC 中心海平面最低气压来度量 TC 强度,用每一时次 6 h 变压 Δp 表示强度变化,给出了 TC 急剧增强的标准; $\Delta p < -7.78$ hPa 的时刻为 TC 急剧增强时刻, $\Delta p > 8.30$ hPa 的时刻为 TC 急剧减弱时刻。于玉斌等^[6]用 $V(I)$ 表示 I 时刻 TC 近中心地面最大风速,用每一时次 12 h 风速变化 ΔV 表示强度变化,急剧增强标准为: $\Delta V > 7.908 64$ m/s,急剧减弱标准为 $\Delta V < -12.974 109$ m/s,借鉴于玉斌等^[6]在超强台风“桑美”近海急剧增强研究方法,综合考虑以上两种标准,“威马逊”自生成以来,强度持续增强,有 3 个急剧增强的时刻,分别出现在 7 月 14 日 14—20 时、7 月 15 日 08—14 时以及 7 月 18 日 02—08 时,由 3 个时段的 Δp 和 $\Delta V(I+1)$ 数据比较来看,“威马逊”的强度在后一个时段更强,在其后的 6—12 h,“威马逊”达到了中心气压的最低值;此外,16 日

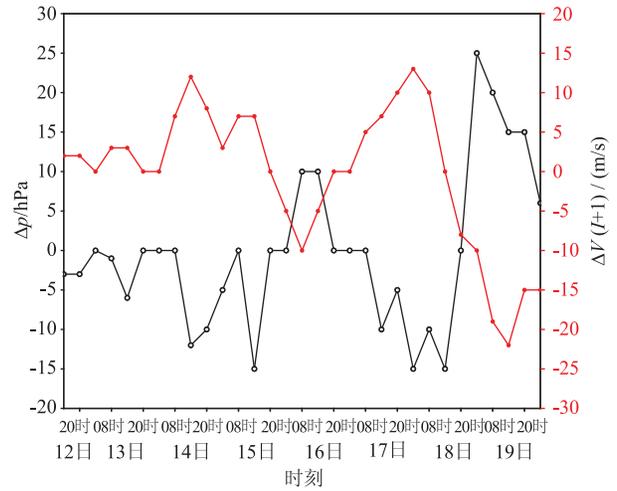


图 1 6 h Δp 及 12 h $\Delta V(I+1)$ 随时间演变图

(实心圆点为 12 h $\Delta V(I+1)$;空心圆点为 6 h Δp)

02—14 时“威马逊”强度出现了一个短暂的小幅减弱,而 7 月 19 日 08 时威马逊强度开始急剧减弱(见图 1),下文将从环境风垂直风切变、天气尺度的高低空水汽辐合辐散等几个方面对引起“威马逊”强度变化的背景条件进行分析。

4 影响“威马逊”强度的环境背景条件分析

4.1 有利的环境风垂直切变

环境风垂直切变(Environmental Vertical Wind Shear, VWS)是热带气旋强度变化的重要环境条件之一。VWS 对 TC 的强度有抑制作用,大的 VWS 抑制或破坏热带气旋的发展,并可能使热带气旋的强度减弱。VWS 可使热带气旋的中心出现倾斜现象,正压结构遭到破坏,切变越大,破坏程度就越大,较小的 VWS 是热带气旋加强的有利因素^[7-8]。

Gallina 等^[10]通过一些观测研究发现在大西洋和西太平洋分别存在 7—8 m/s 和 9—10 m/s 的风切变(200—850 hPa)的临界值,当 VWS 达到临界值以上时,TC 趋于减弱。观测研究认为,影响热带气旋发展的 VWS 阈值在 7—10 m/s 之间,在大西洋的阈值稍小,在西北太平洋的阈值稍大。Wong 等^[11]通过数值模拟试验证实:当 VWS 大于 10 m/s 时,热带气旋明显减弱。对于直径较小的热带气旋,4 m/s 的 VWS 都可以使其强度明显减弱,而在 VWS 小至

2 m/s时才可能不对强度的发展产生明显的抑制作用。

用200 hPa与850 hPa两层的区域平均的风场矢量差来表示TC中心附近环境风的VWS;500 hPa与850 hPa两层的区域平均的风场矢量差表示中低层VWS;200 hPa与500 hPa两层的区域平均的风场矢量差表示中高层VWS。以上计算VWS所选用的区域大小为以TC中心位置为中心,8°×8°的正方形网格。

结果显示,在“威马逊”整个生命史中,环境风的中高层、中低层的VWS都小于10 m/s,而整层的VWS要大于中高层、中低层,切变值小于14 m/s。中低层VWS与TC中心最低气压随时间的演变趋势趋于一致,中低层的VWS与中高层垂直切变具有反位相的关系,即在中低层切变减小的同时,中高层的VWS增大。具体分析来看(见图2),中低层、中高层VWS与TC 3个急剧增强过程相关性较好,在3个急剧增强过程中,中低层VWS均减小至3 m/s以下,中高层VWS小于6 m/s,而整层VWS在6 m/s左右,这与2005年Paterson等^[12]等在研究影响澳大利亚的TC时发现,VWS介于2—4 m/s之间,是TC突然增强的必要条件的结论相一致。在TC整个生命史中,中高层VWS谷值与第一个及第二个急剧增强时刻对应较好,而在第三个台风急剧增强的

过程中,中高层VWS具有提前12 h预报的指示意义(17日14时中高层VWS减小至6 m/s以下),在18日02时中高层VWS达到了峰值后,台风强度迅速减弱(见图2b)。与中高层VWS相似,中低层VWS谷值与第一个和第二个台风急剧增强时刻向对应,第三个急剧增强时刻,中低层VWS表现出了急剧下降的趋势,17日06时中低层垂直风切变均减小至4 m/s以下,提前于台风突然增强约18 h(见图2a)。分析可以看出,中低层较小的垂直切变,有利于TC强度的增强,环境风垂直切变对“威马逊”强度变化的影响有着很好地指示意义,可提前12—18 h预测台风急剧增强的变化趋势。

4.2 正水汽净流入与“威马逊”强度的时间变化

热带气旋生成和发展的一个重要条件是对流层低层的水汽供应。当对流层低层水汽供应充足并伴有上升运动时,暖湿的空气在热带气旋的上升运动中释放潜热,为热带气旋发生、发展提供能量,从而使热带气旋得以加强^[7-9]。

一般而言,热带气旋中水汽丰富、风速又大,常常可以看到非常大的水汽通量值和大的水汽通量散度。但是这种现象即可能出现在正在加强或强度维持的台风中,也可能出现在衰弱期的台风中,而且这些量在热带气旋中的分部很不均匀,所以难

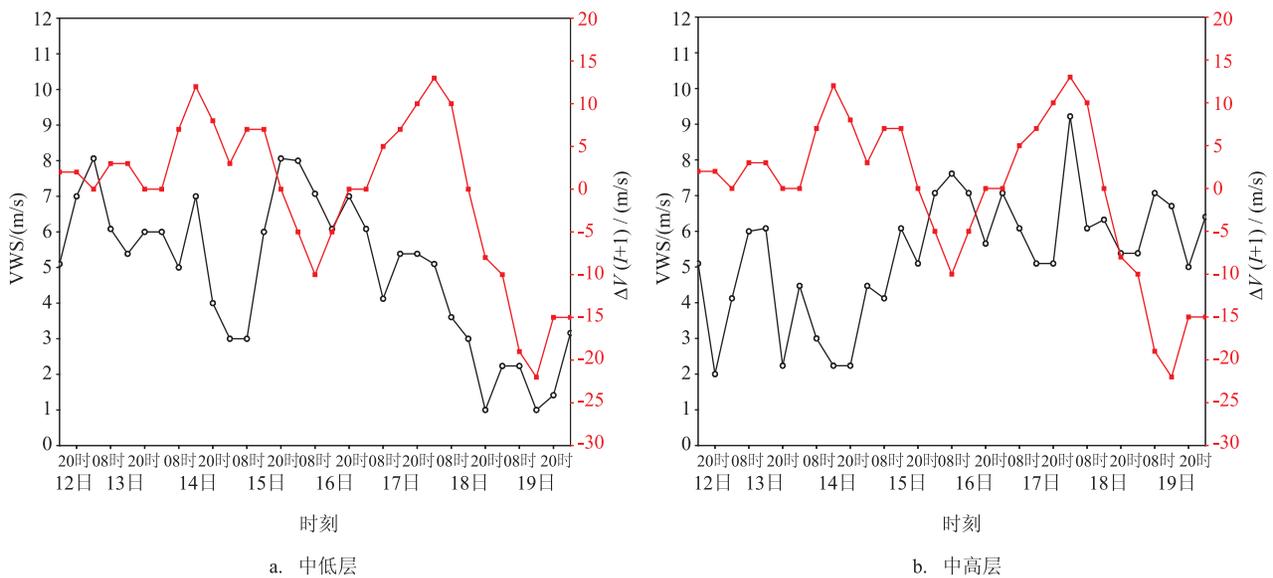


图2 VWS(空心圆)与12 h ΔV(I+1)(实心圆)随时间演变图

以确定水汽是流入还是流出热带气旋区域内,不容易辨别它们对热带气旋发展的总体效果。水汽净收支是指一个区域上空在指定时段内输入的水汽量、输出的水汽量之差,又称净水汽通量,能更好地反映水汽对于TC强度变化的影响。为此,设计以热带气旋中心, $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 经纬度正方形方框,分别利用公式:

$$Q_e = -\frac{1}{g} \int_{p_N}^p q \times u dp \quad (1)$$

$$Q_s = \frac{1}{g} \int_{p_N}^p q \times v dp \quad (2)$$

$$Q_w = \frac{1}{g} \int_{p_N}^p q \times u dp \quad (3)$$

$$Q_n = -\frac{1}{g} \int_{p_N}^p q \times v dp \quad (4)$$

式(1)—(4)中: Q_e 、 Q_w 、 Q_u 、 Q_s 的单位为 $\text{kg}/(\text{m}/\text{s})$ 。

计算单位时间、每个气压层通过东、南、西和北4边流入台风区域的水汽量,它们的算术和 ($q_e + q_s + q_n + q_w$) 为单位时间内台风在该层收到的水汽增加量,即水汽净流入。为了能够反映水汽净流入与“威马逊”强度和强度变化的总体效应,对中低层水汽净流入进行垂直积分(地表—300 hPa)作为台风内的总水汽净流入量,分析它们与“威马逊”强度和强度变化之间的关系。

从东、南、西和北4边流入台风区域的水汽量来看(见图3),在台风生成初期,各边水汽净流入相差不大,均在 $-100 \sim 100 \text{ kg}/(\text{m}/\text{s})$ 之间,而随着时间的推移分成正负相两支。其中,西边界和南边界对台风的加强具有正贡献,在这两个方向有水汽不断流入台风内部,水汽凝结过程中释放大量潜热,而在东边界和北边界是台风水汽流出的方向。分析各边相加所得的水汽净流入发现,在整个台风生命史期间,水汽净流入基本都大于0,有两个超过 $230 \text{ kg}/(\text{m}/\text{s})$ 峰值,分别出现在15日08时和18日08时,分别相对应于第二个和第三个台风急剧增强时刻。另外,从西边界的时间序列来看,自14日08时开始有一个显著的增大,此时正对应TC第一个及第二个急剧增强时刻,此后这一边的水汽净流入量不断增大,18日02时达到峰值,接近 $400 \text{ kg}/(\text{m}/\text{s})$,这正好对应TC的第三个急剧增强时刻,另外,东边界的水汽净流入与西边界有着反位相的关系,由此可见,“威马逊”的强度变化与总水汽净流入有近似

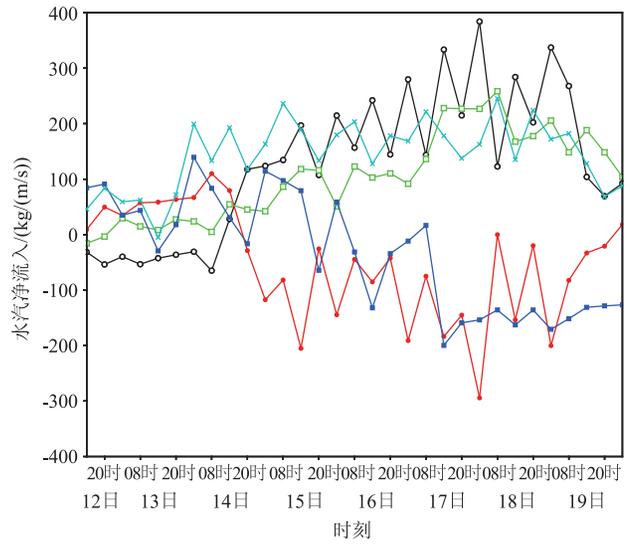


图3 总水汽净流入与各方向水汽净流入的时间演变图

(图中空心圆为西边界水汽净流入,实心圆为东边界水汽净流入,空心框为南边界水汽净流入,实心框为北边界水汽净流入,十字星为总水汽净流入)

一致的关系,表明总水汽净流入的大小与“威马逊”的强度变化有明显的对应关系。从经向与纬向水汽净流量与总水汽净流入量关系中,纬向净流入量与总水汽净流入量趋势更加接近,而强度本身大小的关系不一定重要(图略)。

4.3 强烈的低层辐合和高层辐散

低层辐合和高层辐散是热带气旋发生、发展必不可少的动力条件。当低层和高层分别满足辐合和辐散条件时,可以促使大气上升运动的发展,低层高湿空气在上升运动中水汽发生凝结,释放出大量的潜热,为热带气旋的进一步发展提供能量。一般而言,对流层低层辐合偏大,对流层高层的辐散偏大,对流层中层的辐合和辐散不甚明显^[8-9]。

为了能够直观地反应台风区域内总辐合和总辐散的状况,仿照水汽净流入的求算方法,利用公式:

$$con_c = -\frac{1}{g}u, \quad con_s = \frac{1}{g}v \quad (5)$$

$$con_w = \frac{1}{g}u, \quad con_n = -\frac{1}{g}v \quad (6)$$

计算单位时间内,每一个气压层通过东、南、西和北4边流入的、以“威马逊”中心为中心的 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 经

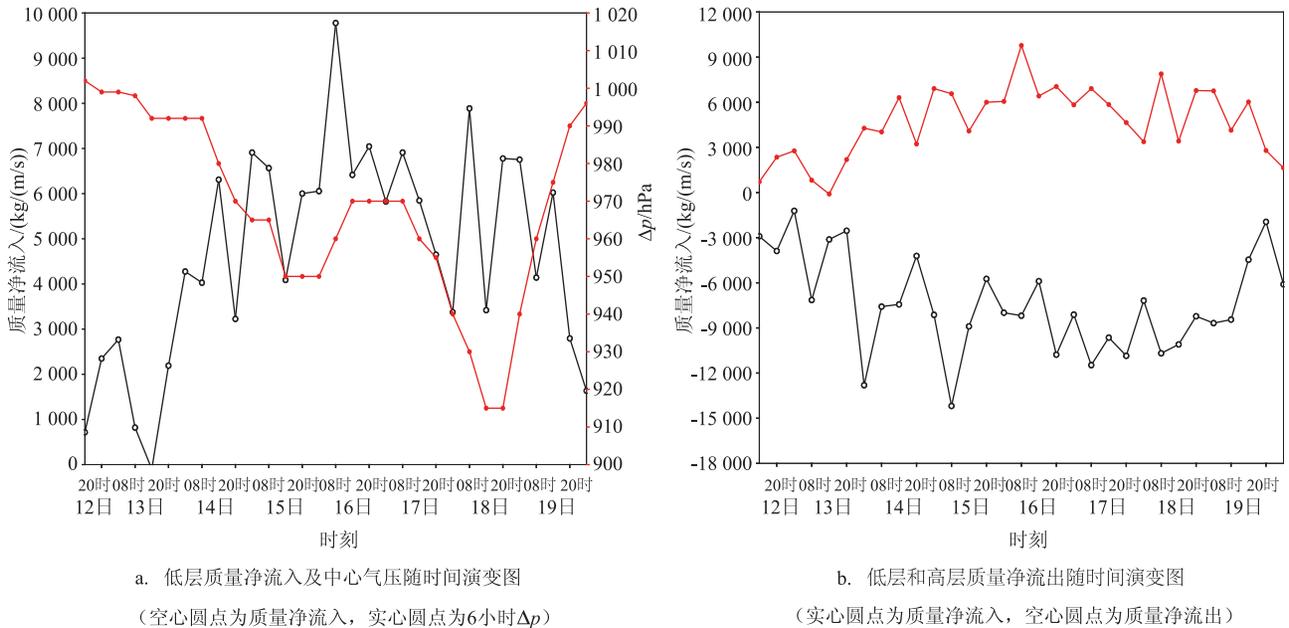


图4 低层和高层质量净流出随时间演变图

(纬)度方框的质量流量,它们的算术和为单位时间内台风在该层增加的空气质量数,即质量净流入;低层(垂直方向从地表—900 hPa积分)质量流入量和高层(垂直方向从300—150 hPa积分)质量流出量,分别表示“威马逊”区域内低层辐合和高层辐散的状况。发现对流层低层的质量净流入与TC强度对应关系较好(见图4a),15日14时—16日02时及18日14—20时,TC近中心最低气压达到最低,此时台风强度达到最强,此时对流层低层的质量净流入也出现了两个峰值,而高层的质量净流出与TC强度的相关性较弱(图略),但如果结合低层和高层的质量净流入流出(见图4b)可以看出,15日08时,低层的质量净流入较高,高层的质量净流出较大,表明此时低层辐合较强,高层辐散较大,这种高低空的配合,有利于TC的发展,15日14时台风发展到最强,16日20时—18日02时,高层辐散与低层辐合也有这种反位相的关系,但强度均没有达到峰值,变化比率较小,此时台风强度逐渐加强,这种反位相的关系在18日14时结束,这种反位相的关系,表明这一时段TC强度在加强,台风于18日14时达到最强。

5 小结

本文通过诊断分析研究了“威马逊”加强的动

力和热力条件,得到如下主要结论:

(1)“威马逊”在整个生命史内,有3个急剧增强的时刻,分别出现在7月14日14—20时、7月15日08—14时以及7月18日02—08时,而7月19日08时是威马逊强度的急剧减弱时刻;

(2)在整个生命史中,中低层垂直风切变与TC中心最低气压随时间的演变趋势相似,与3个急剧增强过程相关性较好,可提前12—18 h预测台风急剧增强的变化趋势;

(3)在3个急剧增强过程中,中低层VWS均减小至3 m/s以下,中高层VWS小于6 m/s,中低层与中高层VWS的急剧减小对TC的急剧增强有较强的指示意义;

(4)“威马逊”的强度变化与总水汽净流入有近似一致的关系,纬向净流入量与总水汽净流入量趋势更加接近,而强度本身大小的关系不一定重要。西边界和南边界对台风的加强具有正贡献,在这两个方向有水汽不断流入台风内部,而在东边界和北边界是台风水汽流出的方向;

(5)对流层低层的质量净流入与TC强度对应关系较好,而高层的质量净流出与TC强度的相关性较弱。低层的质量净流入较大,高层的质量净流出较强时,表明高低空的配合较好,有利于TC的发展。

参考文献:

- [1] 娄小芬, 楼茂园, 罗玲, 等. “菲特”台风路径和强度预报难点分析[J]. 海洋预报, 2015, 32(1): 10-19.
- [2] 许映龙, 张玲, 高拴柱. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象, 2010, 36(7): 43-49.
- [3] 于玉斌, 姚秀萍. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 521-526.
- [4] 寿绍文, 姚秀萍. 爆发性发展台风合成环境场的诊断分析[J]. 大气科学, 1995, 19(4): 487-493.
- [5] 胡春梅, 端义宏, 余晖, 等. 华南地区热带气旋登陆前强度突变的大尺度环境诊断分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 377-382.
- [6] 于玉斌, 陈联寿, 杨昌贤. 超强台风“桑美”(2006)近海急剧增强特征及机理分析[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 405-416.
- [7] 高拴柱, 吕心艳, 王海平, 等. 热带气旋莫兰蒂(1010)强度的观测研究和增强条件的诊断分析[J]. 气象, 2012, 38(7): 834-840.
- [8] 邓文君, 王蓉, 李茜希, 等. 1208号台风“韦森特”南海近海强度突增特征诊断分析[J]. 海洋预报, 2013, 30(5): 44-50.
- [9] 王蓉, 姚小娟, 肖瑜璋, 等. 1208号台风“韦森特”特征分析[J]. 海洋预报, 2013, 30(6): 13-20.
- [10] Gallina G M, Velden C S. Environmental Vertical Wind Shear and Tropical Cyclone Intensity Change Utilizing Enhanced Satellite Derived Wind Information[C]//Proceedings of the 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. San Diego: American Meteorological Society, 2002: 172-173.
- [11] Wong M L, Chan J C L. Tropical Cyclone Intensity in Vertical Wind Shear[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2004, 61(15): 1859-1876.
- [12] Paterson L A, Hanstrum B N, Davidson N E, et al. Influence of Environmental Vertical Wind Shear on the Intensity of Hurricane-Strength Tropical Cyclones in the Australian Region [J]. Monthly Weather Review, 2005, 133(12): 3644-3660.

Diagnostic analysis on the intensity change of typhoon Rammasun

LIU Jia-Jun¹, NIE Xin-Wang¹, MEI Na¹, WANG Rui², WANG Xin¹, WU Jing¹

(1. 31010 Troops of PLA, Beijing 100081 China;

2. Meteorological ocean College of PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101 China)

Abstract: Based on the NCEP reanalysis data and the typhoon routine observation data, the environmental field characteristics and the strength change of super typhoon Rammasun is analyzed using the synoptic and dynamic diagnosis method. The results show that in the whole life cycle there are three rapid intensification moments and one rapid weakening moment. The vertical shears at middle-low layer and middle-high layer have a good correlation with the three rapid intensification process, and the rapid reducing of vertical shears has a significant symbol for the rapid intensification of TC. The intensification variation of the typhoon has approximate agreement with the total water vapor transport. The water vapor transport from the western and southern boundaries of the typhoon is in favor of the strength of Rammasun, while the water vapor flows out of the eastern boundary and the northern boundary of the typhoon. The strong low-level convergence and upper-level divergence provides the favorable dynamic conditions for the development of Rammasun.

Key words: super typhoon Rammasun, vertical wind shear, water vapor transport, net mass outflow inflow