

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0030-03

台风“彩虹”(1522)的数值模拟及增强条件分析

麦雪湖^{1, 2}, 植江玲¹, 麦文强^{1, 3}

(1.佛山市气象局, 广东佛山 528000; 2.佛山市顺德区气象局, 广东佛山 528300; 3.佛山市三水区气象局, 广东佛山 528100)

摘要:利用 WRF 数值模式对台风“彩虹”进行数值模拟,较好地模拟出台风的移速路径、强度变化,登陆时间和地点与实况基本一致;利用高分辨率的模式输出,对台风增强条件进行分析,结果表明:(1)台风中心高空气流强烈外流区与高压反气旋环流中心靠近合并,中层呈“东北高西南低”的形势,副高中心的加强大大增强与台风之间的气压梯度力,均有利于台风强度增强;(2)小的各层 VWS 有利于台风加强;环流场的调整会使得各层 VWS 均有所增大,但台风仍在加强;深层和低层 VWS 先于台风减弱就开始增大,而高层 VWS 在台风减弱过程中仍维持较小;(3)台风强度的变化滞后于水汽净流入量的变化趋势约 9 小时,南边界为最主要的水汽输入,表明西南季风对台风水汽输送起着重要作用;(4)海表面输送的热量台风发展提供能量来源的同时,其输送的不对称也是引起台风整体结构不对称的原因之一,其中潜热通量在台风加强过程中起到更重要的作用。

关键词:台风;数值模拟;增强条件

Analysis on the numerical simulation and enhancing conditions of typhoon "Mujigea"

Mai Xue-hu, Zhi Jiang-ling, Mai Wen-qiang

(1.Foshan Municipal Meteorological Service, Foshan Guangdong 528000; 2. Shunde District Meteorological Service, Foshan Guangdong 528300; 3. Sanshui District Meteorological Service, 528100)

Abstract: Based on the WRF numerical model, numerical simulation of typhoon "Mujigea" was made to simulate the moving speed of the typhoon path, intensity changes, landing and location. The results are all consistent with the actual process. Using high-resolution model output, the typhoon to enhance conditions were analyzed, The results show that: (1) the typhoon center strong outflow area closing to the high pressure anticyclone circulation center, middle showing the situation of "northeast high southwest low", the greatly strengthening center of the subtropical and the pressure gradient force between typhoon is helpful for the enhancing the; (2) the small VWS of the each layers increase the strengthening of typhoon; Adjustment of circulation field makes the layers of VWS has increased, but the typhoon is still in strengthening; Deep and low-level VWS began to increase before the typhoon weakening, and high-level VWS remains small in the process of the typhoon weakening; (3) The typhoon intensity changes lags the change of net water vapor flow trend about 9 hours, south boundary as the major water vapor input, plays an important role in the southwest monsoon typhoon water vapor transportation; (4) the heat of the sea surface providing energy sources for the typhoon development, its transmission asymmetry is also one of the causes of the typhoon asymmetric structure, in which the latent heat flux plays a more important role in the process of typhoon strengthening.

Key Words: typhoon; numerical simulation; enhancing condition

热带气旋的强度变化是台风研究领域重要的科学问题之一。近年来,相对于热带气旋路径预报水平的明显提高,对于热带气旋强度的认识和主客观预

报能力仍有较大不足。热带气旋在登陆之前,一般其强度都趋于减弱,而有统计研究表明,16%的热带气旋移动到中国沿海会突然加强^[1],这种近海突然迅

收稿日期:2016-08-16

基金项目:广东省佛山市气象局科学技术研究项目(201501)

作者简介:麦雪湖(1988-),男,工程师,硕士,主要从事短时短期天气预报。

速加强的热带气旋往往会由于预计不足而导致防范不够,造成严重灾害。热带气旋迅速加强是多种影响因素共同作用的结果,包括较高的海表面温度、副热带高压的加强、西南季风潮爆发、适度冷空气入侵、弱的环境风垂直切变等^[2-8]。由于海洋上缺乏足够精细的观测资料,因此随着高时空分辨率数值模式和计算机的发展,对热带气旋进行数值模拟研究已经逐渐成为了研究台风热力结构、演变过程和台风涡旋非常重要且有效的手段。于玉斌等^[9]对超强台风“桑美”(2006)的模拟研究表明,来自海洋的暖湿气流是台风发展的关键条件,而低层气旋性涡旋并入台风环流是其近海加强的重要原因;李江南等^[10]通过数值模拟表明,中纬度中上层冷低压系统和热带气旋的相互作用是 Vongfong(2002)近海加强的重要因素。本文通过对 2015 年 22 号台风“彩虹”进行数值模拟验证,并在此基础上,使用高分辨率的模拟结果对台风增强条件进行分析,以期为今后分析同类台风预报提供一些参考。

1 模拟方案和结果验证

本文使用非静力平衡的中尺度数值模式 WRF 来进行模拟试验。采用二重网格嵌套,粗网格格距为 12km,用于模拟大尺度的环境条件,区域中心为 108°E, 25.0°N, 细网格格距为 4km,用于反映台风中小尺度结构的变化。模式顶为 50hpa,垂直方向取 30 个不等距的 σ 层。在粗网格采取 Grell-Devenyi ensemble 对流参数化方案,细网格不采用对流参数化方案。云微物理方案均为 WSM6 方案,边界层方案均采用 QNSE 方案。使用一日四次水平分辨率为 1°×1°的 NCEP/NCAR 全球格点再分析 FNL 资料作为模式的第一猜测场。考虑到 NCEP 资料的初始台风涡旋较弱,模拟试验采用热启动的方式,先从 2015 年 10 月 2 日 12 时(世界时,后文均为世界时)模拟 6 小时后输出 2 日 18 时的物理场形成最终初始场。试验正式的模拟时间从 2015 年 10 月 2 日 18 时到 2015 年 10 月 5 日 00 时,共积分 54 个小时。

2 模拟结果验证

2.1 路径和移速

模拟路径与实际的移动方向大致相同,均是以西北行为主,模拟的登陆时间、登陆地点均和实况较为一致。登陆前模拟的台风路径要比实况偏北,而登陆后路径偏南。除去最后两个时次,其它时次模拟的

路径位置偏差一直维持在 80km 以内,期间的平均误差约为 36.38km,而 04 日 03 时至 09 时的台风登陆前后的偏差更是在 10km 以下;通过计算每两个时次间台风的移动距离来计算台风的平均移速,模拟得到的台风移动速度和实况相差不大(模拟移速为 21.5kmh⁻¹,实况移速为 20kmh⁻¹)。

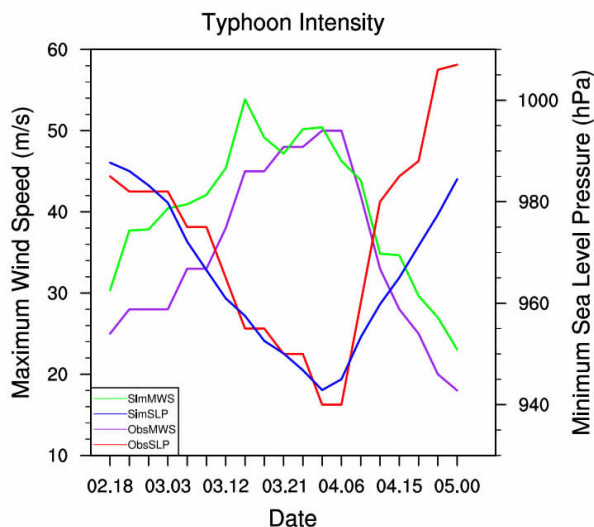


图 1 模拟的台风中心气压 (hPa) 和中心附近最大风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 变化与实况对比

2.2 强度

台风的强度通常以中心最低气压和最大风速来表征。图 1 为台风中心附近最低气压和最大风速变化对比,可以看到,在 4 日 06 时登陆前台风是一个不断加强的阶段,模拟的中心气压和实况较吻合,台风登陆后迅速减弱,实况要比模拟的减弱更快;而最大风速方面,登陆前的模拟结果比实况要偏强,登陆后与实况相比则较为接近。

2.3 雷达组合反射率

雷达反射率在一定程度上能够反映台风降雨分布和降水率。图 2(见彩页)为 10 月 04 日 06 时的泛华南区域雷达拼图和试验模拟的组合反射率。模拟试验较好的模拟出台风的眼区位置,模拟的主要螺旋雨带主要位于台风中心的东北象限,与实况较一致,除粤东的一条雨带没有模拟出来,其三个分别位于阳江以及珠江口两侧的螺旋雨带均有所体现。

3 台风增强条件分析

3.1 高空辐散场

从图 3 可见:2 日 21 时,“彩虹”位于高压反气

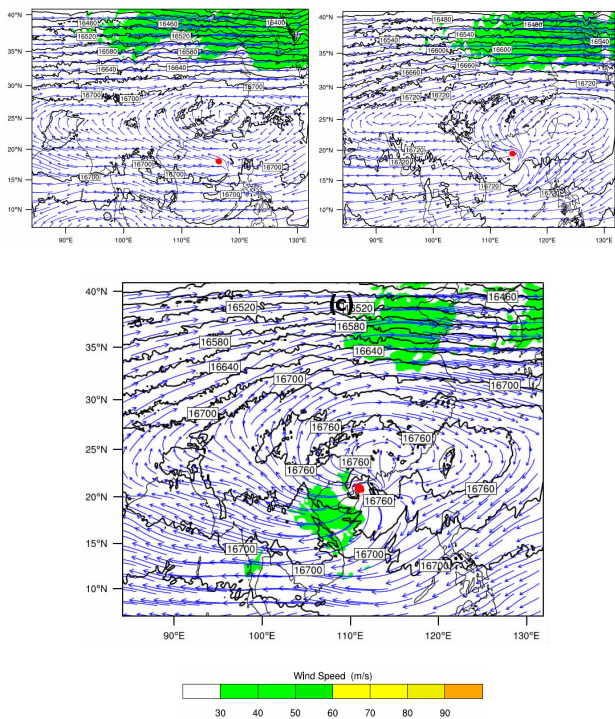


图3 100hPa形势场(等值线为位势高度,填色为风速大小,箭头为流场,台风符号表示台风中心)

(a)2日21时;(b)3日12时;(c)4日03时

旋环流南侧的偏东气流之中。随后3日12时,在台风急剧增强过程中,位势高度场升高,除高压反气旋环流外,台风上空也开始出现明显的一个气流强烈外流区,高空辐散加强。到4日03时,位势高度场继续升高,高压反气旋环流中心与台风上空的外流区靠近合并,外流气流进一步加强,高空辐散的抽吸作用加剧,台风的强度达到最强阶段。

3.2 副热带高压

从图4可见500hPa高度上,副热带高压控制中低纬地区,台风“彩虹”虽然一直处于副热带高压的588线范围内,但位于592线的西南侧,整体呈现出“东北高西南低”的形势。在台风急剧增强过程中,副高中心的高度场进一步升高至596以上,与台风之间的气压梯度增强明显,风力加大,台风强度增强。

3.3 环境风垂直切变

研究表明:环境风切变反映台风扰动周围的“通风条件”,弱的环境风垂直切变(VWS)有利于台风气柱内凝结潜热集聚和暖心结构的形成,从而有利于台风的发展和维持^[11-12]。以台风为中心选取 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ (经纬距)正方形区域计算台风强度变化过程中

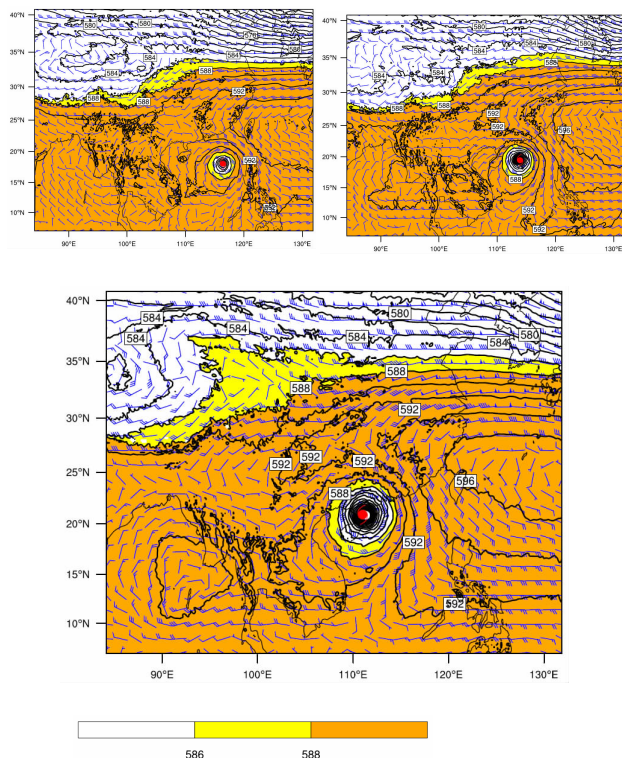


图4 500hPa形势场(等值线为位势高度,填色为586线以上范围,台风符号表示台风中心)

(a)2日21时;(b)3日12时;(c)4日03时

的平均环境风垂直切变,用850hPa和200hPa高度场环境风垂直切变代表深层大气的VWS,500hPa和200hPa高度场的环境风垂直切变代表高层大气VWS,850hPa和500hPa高度场环境风垂直切变代表低层大气的VWS(图5)。结果表明:3日03时之前,各层VWS变化不大,均小于 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,台风缓慢加强;3日03时起深层VWS开始增大,3日09时至15时起高层和低层VWS也开始增大,此阶段台风处于加速增强过程,由前文的环境场形势分析可知,此时高空200hPa的环流场出现明显的调整,台风中

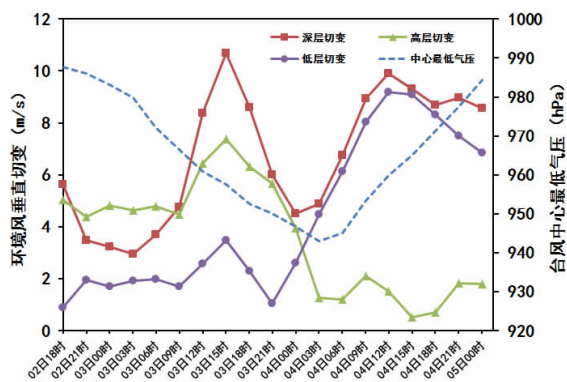


图5 环境风垂直切变($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)的时间演变图

心上空出现辐散中心, 中层 500hPa 副高增强明显, 表明台风结构此时也处于一个明显的调整阶段, 高空辐散“抽取”作用加强, 中层气压梯度增大, 风力加大, 各层 VWS 虽有所增大但总体仍维持在 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下, 台风强度急剧加强; 3 日 15 时后台风结构调整完成, 各层 VWS 重新减小, 台风强度继续增强; 3 日 21 时低层 VWS 开始增大, 4 日 03 时深层 VWS 开始明显增大, 而高层 VWS 在后期仍维持在 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下, 这与台风登陆后受下垫面影响, 低层结构被破坏, 强度明显减弱相对应。

3.4 水汽条件

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。暖湿的空气在上升运动中可以释放潜热, 为热带气旋发生、发展提供能量, 从而使热带气旋得以加强。一般而言, 在热带气旋中可以看到非常大的水汽通量, 但其分布很不均匀, 难以确定水汽是流入还是流出热带气旋区域中, 不容易辨别它们对热带气旋发展的总体效果。为此, 设计以热带气旋中心为中心, 5×5 经(纬)度正方形方框, 分别利用公式^[13]:

$$q_e = \frac{1}{g} qu, q_s = \frac{1}{g} qv$$

$$q_w = \frac{1}{g} qu, q_n = \frac{1}{g} qv$$

计算单位时间、每个气压层通过东、南、西、北四个边界流入台风区域内的水汽量、它们的算术和() 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。对低层水汽净流入量进行垂直积分(1000hPa 至 700hPa) 计算台风内的总水汽净流入量, 分析其与台风强度变化量(后一时次与当前时次台风中心气压差)之间的关系(图 6)。

在整个台风的发生发展过程中, 台风在对流层低层总的水汽净流入量均为正值, 但在数值大小上存在较大的差距。2 日 18 时到 3 日 03 时, 水汽净流入量基本在 $60\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ 以上, 3 日 03 时起, 台风强度变化增大至 4hPa (逐 3 小时之差), 过后水汽净流入量呈减小趋势, 于 3 日 18 时后降至 $10\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ 左右并维持至 4 日 03 时, 在此期间, 台风强度变化量缓慢减小, 但仍为正值, 表明台风仍在加强, 至 4 日 03 时后台风强度变化值转为负值, 表明台风强度开始有所减弱。总体上, 台风强度的变化与水汽净流入量的变化趋势有一定的对应关系, 但有约 9 小时左右

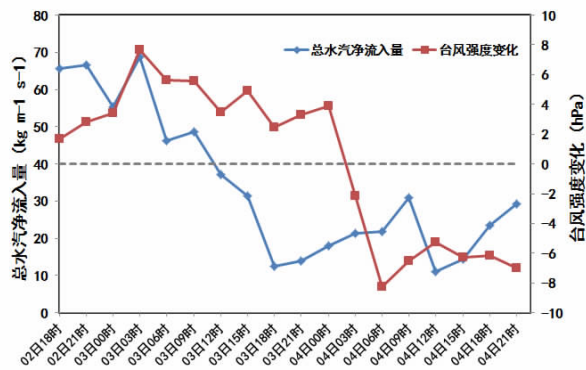


图 6 垂直积分的总水汽净流入量($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)与台风强度变化的时间演变图

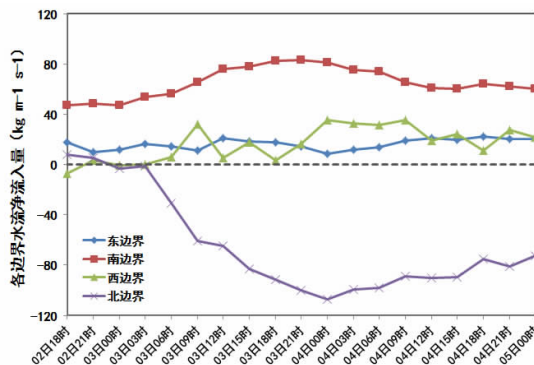


图 7 垂直积分的各边界总水汽净流入量 ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)的时间演变图

的滞后时间(图 7)。在各个边界中, 东、南、西边界均为正的水汽净流入, 而北边界是主要的水汽净流出, 其中南边界为最主要的水汽输入, 说明西南季风对台风水汽输送起着重要作用。

3.4 海表热通量

台风的发生发展主要在海洋上进行, 来自海表面的热量可抵消和补偿边界层摩擦耗散的能量, 台风强度才能维持和发展。从图 8 和图 9 可见, 2 日 21 时, 海表面的热量集中在台风的东南侧, 并且感热量和潜热通量之间的量级差不多, 此时台风缓慢加强; 而在台风加强明显阶段(3 日 12 时、4 日 03 时), 海表面的热量输送主要集中在台风中心的北侧和西北侧, 数值也增大明显, 此时潜热通量比感热通量要大一个量级, 这说明海表面输送的热量为台风发展提供了能量来源, 促进台风强度迅速加强, 而热量输送的不对称是引起台风整体结构不对称的原因之一, 其中潜热通量在“彩虹”加强过程中起到更重要的作用。

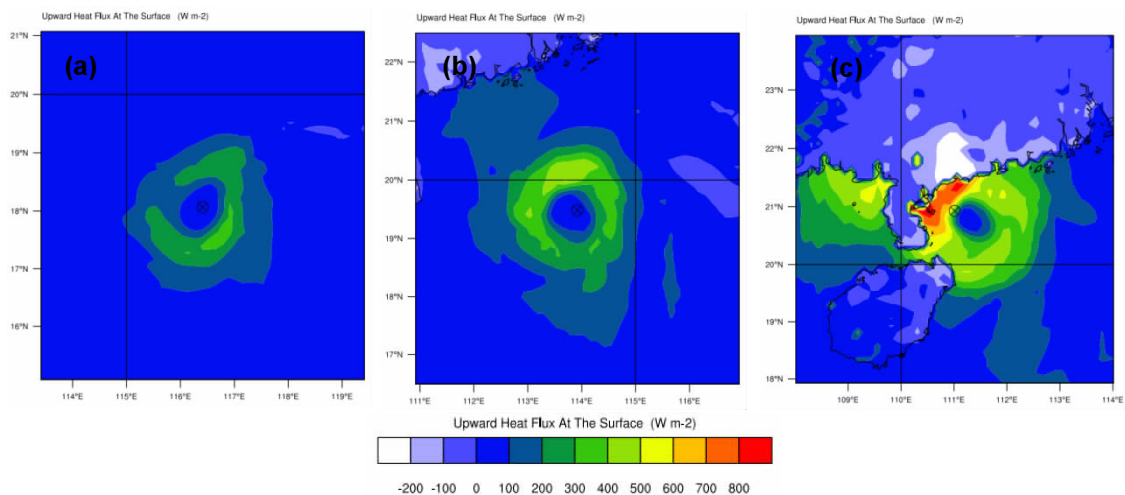


图8 台风中心附近的向上感热通量 (W m^{-2})

(a) 2日 21 时; (b) 3日 12 时; (c) 4日 03 时

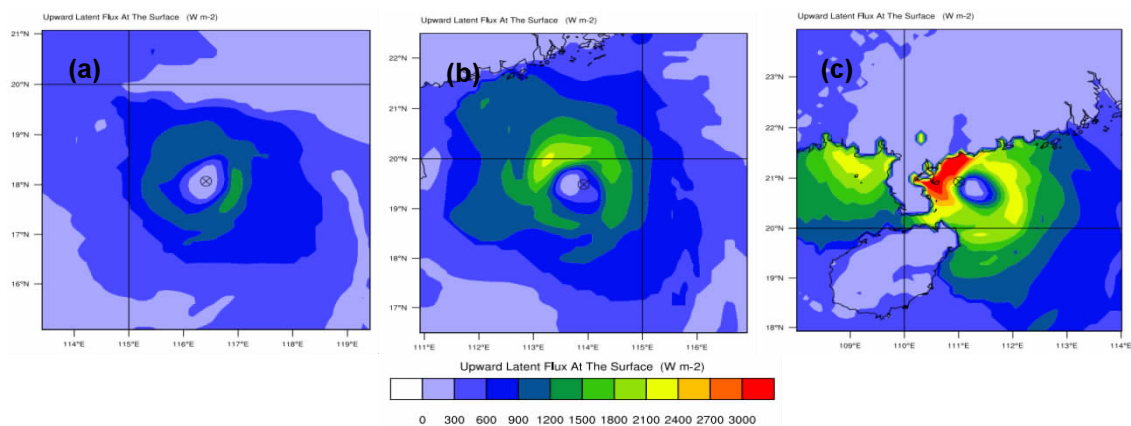


图9 台风中心附近的向上潜热通量 (W m^{-2})

(a) 2日 21 时; (b) 3日 12 时; (c) 4日 03 时

4 小结

本文利用 WRF 数值模式对台风“彩虹”进行数值模拟,较好地模拟出台风的移速路径、强度变化,登陆时间和地点与实况基本一致。利用高分辨率的模式输出,对台风增强条件进行分析,得到初步结论如下:

(1) 台风中心上空气流强烈外流区与高压反气旋环流中心靠近合并,高空辐散的抽吸作用加剧,有利于台风强度加强;

(2) 台风“彩虹”一直处于副热带高压的 588 线范围内,但整体呈现出“东北高西南低”的形势,副高中心的高度场的升高大大增强与台风之间的气压梯度力,台风风力加大,强度增强;

(3) 起始阶段,深层、高层、低层 VWS 均小于

$6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 台风缓慢加强;随着环流场的调整,各层 VWS 均有所增大,但台风仍在加强;环流场调整完毕后,各层 VWS 再次减小,台风强度达到最大;深层和低层 VWS 先于台风减弱就开始增大,而深层 VWS 仍维持较小。

(4) 台风强度的变化滞后于水汽净流入量的变化趋势约 9 小时,东、南、西边界均为正的水汽净流入。南边界为最主要的水汽输入,表明西南季风对台风水汽输送起着重要作用,而台风主要的水汽净流出是在北边界。

(5) 海表面的热量输送不对称是引起台风整体结构不对称的原因之一。海表面输送的热量为台风发展提供能量来源,促进台风强度迅速加强,其中潜热通量在台风加强过程中起到更重要的作用。

参考文献

- [1] 陈联寿, 孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展 [J]. 大气科学, 2001, 25: 420-432.
- [2] 林良勋, 梁巧倩, 黄忠. 华南近海急剧加强热带气旋及其环流综合分析 [J]. 气象, 2006, 32 (2): 14-18.
- [3] 于玉斌, 杨昌贤, 姚秀萍. 近海热带气旋强度突变的垂直结构特征分析 [J]. 大气科学, 2007, 31 (5): 876-886.
- [4] 李华实, 廖胜石, 李露芳, 等. 1409 超强台风“威马逊”近海急剧加强特征及成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (01): 47-51.
- [5] 唐文, 陈见, 李生艳, 等. “北冕”后期路径左折和强度突然加强成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (02): 1-4.
- [6] 邓文剑, 吴振鹏, 吴乃庚, 等. 台风“巨爵”近海急剧加强的特征及成因分析 [J]. 广东气象, 2014, 36 (3): 9-14.
- [7] 胡春梅, 端义宏, 余晖, 等. 华面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.
- [8] 季亮, 费建芳, 黄小刚. 副热带高压对登陆台风影响的数值模拟研究 [J]. 气象学报, 2010, 68 (1): 39-47.
- [9] 于玉斌, 段海霞, 炎利军, 等. 超强台风“桑美”(2006)近海急剧增强过程数值模拟试验 [J]. 大气科学, 2008, 32 (6): 1365-1378.
- [10] 李江南, 吴国强, 王刚, 等. 南海台风 Vongfong (2002) 登陆前后内核结构和近海加强原因的数值模拟研究 [J]. 热带气象学报, 2008, 24 (5): 441-448.
- [11] Heymsfield G M, Simpson J, Halverson J, et al. Structure of highly sheared Tropical Storm Chantal during CAMEX-4 [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2006, 63 (1): 268-287.
- [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]. Mon. Wea. Rev., 2005, 133 (12): 3644-3660.
- [13] 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.
- [14] 林晓霞, 王硕甫, 冯业荣. 超强台风“威马逊”登陆前快速加强的特征和原因分析 [J]. 广东气象, 2016, 38 (3): 33-37.
- [15] 洪展. 一次台风暴雨过程的水汽特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 16-18.
- [16] 郭媚媚, 唐洁, 李文辉, 等. 1522 号强台风“彩虹”特征及成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (3): 69-73.
- [17] 翁小芳, 冯文, 李凡. 0801 号台风“浣熊”的路径和强度特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (4): 4-6.
- [18] 董良森, 陈见. 台风“达维”后期强度突变成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (S): 62-63.
- [19] 秦鹏, 黄浩辉. 影响广东沿海的热带气旋最大强度估算 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (1): 1-5.
- [20] 陈见, 罗建英, 廖胜石. 台风“派比安”分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (2): 1-6.