

文章编号:1673-8411(2018)03-0001-06

台风“芭玛”(2009)近海突然加强的模拟研究

曾小团¹, 黄海洪², 罗建英¹, 黄荣成¹, 李佳颖¹

(1. 广西区气象台, 南宁 530022; 2. 广西区气象减灾研究所, 南宁 530022)

摘要:通过对台风“芭玛”在北部湾近海突然加强过程进行模拟研究, 结果表明: 台风“芭玛”突然加强过程中其内部暖心结构有显著变化; 弱冷空气被不断从台风环流外围卷入到台风低层内部, 抬升暖湿气流促进水汽凝结潜热释放; 台风“芭玛”在其突然加强过程中存在环流重组情况, 其环流内圈包括极大风速等的分布不断对称化发展, 并将其外围的螺旋云系进行重新整合, 将外围周边的对流云团发展释放的能量不断卷入到台风环流中, 同时将外围松散正涡度重新组织到台风内部; 综合因子叠加作用使得台风“芭玛”在近海突然加强。

关键词: 台风; 数值模拟; 北部湾; 突然加强; 暖心结构

中图分类号: P458.1+24

文献标识码: A

Simulation studies on the sudden offshore strengthening of typhoon “Parma”(2009)

Zeng Xiaotuan¹, Huang Haihong², Luo Jianying¹, Huang Rongcheng¹, Li Jiaying¹

(1. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022;

2. Guangxi Institute of Meteorological, Disaster Mitigation, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: Based on the simulation study on the sudden offshore strengthening process of typhoon “Parma” in Beibu Gulf, we found that there were significant changes in the warm heart structure of typhoon “Parma” during the sudden strengthening process. Weak cold air was constantly drawn into the inner lower part of the typhoon from the periphery of the typhoon circulation, and lifting warm moist airflow promoted latent heat release from condensation of water vapor. During the process of sudden intensification, there were some circulation reorganizations, it means the distribution of the inner circle including the maximum wind speed showed constant symmetrization development, and the peripheral spiral structure was readjusted, involving the energy released by peripheral convective clouds into the typhoon circulation, at the same time, reorganizing the loose positive vorticity of the periphery into the typhoon interior. All the above factors combined to make typhoon “Parma” suddenly strengthened in offshore Beibu Gulf.

Keywords: typhoon; numerical intensification; Beibu Gulf; sudden stimulation; warm center structure

引言

近年来, 国内外专家学者对台风强度变化相关问题做了大量的研究, 热带气旋趋近陆地时一般会减弱, 但约16%的热带气旋移到我国近海突然增强^[1]; 丁治英等^[2]分析了南亚高压南部环境位涡通过加强对流运动潜热释放, 使得台风因暖心得到加强

而强度加强; 黄荣成^[3]等通过对比分析近海突然加强和突然减弱的TC环境场, 发现南亚高压强弱、水汽辐合辐散, 上升运动连续性等综合作用控制着TC的强度变化; 除此之外, 还有一些研究^[4-11]表明, 弱冷空气刺激台风环流, 环境风场垂直切变变化, 下垫面变化^[12-13]等因素在某些情况下是造成台风近海强度突变的主要因子; 但这些研究大多从大尺度环境场方

收稿日期: 2018-03-18

基金项目: 广西科技重点研发计划项目(桂科AB16380267)资助

作者简介: 曾小团(1971-), 男, 学士, 高级工程师, 主要从事天气预报技术研发工作。

面着手,对台风内部结构与环境因子作用的精细化变化特征没有进一步研究。随着数值模式及计算机水平的发展,近海台风强度变化过程可通过数值模拟再现,从而能够研究台风强度变化过程中其内部的变化特征,提高了对台风近海强度突变的认识和理解,如官晓军^[14]通过数值模拟研究表明台风“达维”近海迅速加强过程中其结构变化表现为内部螺旋雨带明显强于外部螺旋雨带,眼区缩小并且眼墙结构逐渐轴对称;于玉斌^[15]等认为对流层中上层凝结潜热的突然增强是台风“桑美”在近海急剧增强的主要原因;季亮等^[16]对台风“云娜”(2004)近海加强进行模拟研究表明对流层低层存在明显的冷暖空气堆积,当冷暖空气强度相当时有利于台风的增强,程锐等^[17]认为“云娜”(2004)眼墙区域各物理量的贡献对其强度和结构变化的影响十分重要。上述研究的台风个例基本上位于东海或南海东北部,这些研究成果对于北部湾近海突然加强台风内部变化是否适用并未得到相关研究验证。本文通过模拟并研究了在北部湾近海突然加强的台风“芭玛”(200917号)强度增强过程的内部变化特征,获得了一些有意义的研究成果,提高对此类台风在北部湾近海强度变化的认识。

1 台风“芭玛”(2009)简介

台风“芭玛”(Parma)于9月29日初生在关岛西南方800km的海面上,整个生命史达16d。其首次登陆菲律宾后出海并在菲律宾北部近海回旋了3d,然后又再次登陆菲律宾岛,在岛上经过60h停滞打转后出海并向西北方向移动,强度先缓慢减弱到热低压级别($16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),然后在接近海南岛的过程中又缓慢加强;登陆海南时加强为热带风暴($23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),在岛上缓慢加强为强热带风暴($25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)后进入北部湾,开始了快速加强模式,于13日00时至06时(世界时),中心附近最大风力由 $28\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增加到 $38\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,中心气压由988hPa下降至965hPa,短时间内其强度突变较大,是该海域加强台风中比较少见的,其加强后移动减慢,在北部湾中部海面停滞40h后减弱为热带风暴,最后登陆越南消亡。

2 台风“芭玛”(2009)数值模拟

2.1 资料与模拟方案

本文使用了中国气象局上海台风研究所提供的台风资料(路径、强度),使用了美国环境预报中心的NCEP全球再分析格点资料作为初始场和边界条件,该资料经纬度格距是 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,垂直方向26层,一天输出4次;使用美国NCAR等研制的WRF(V3.1)高分辨率中尺度数值模式对0917号台风“芭玛”在北部湾近海迅速加强过程进行数值模拟,模拟时间从2009年10月12日00时至14日12时(世界时,下同),总

表1 主要物理参数设置

格点数	300×300	微物理过程方案	Lin等的方案
格距	6km	积云对流参数化方案	无
积分步长	60s	陆面过程	Noah 陆面过程方案
总积分时间	60h	边界层方案	YSU 方案
中心经纬度	19.37°N, 108.97°E	近地层方案	Monin-Obukhov 方案

积分时间60h,逐小时输出资料,每6h生成一个数据文件,模式主要物理参数设置见表1。

2.2 模拟结果检验

通过模拟数据提取了模拟台风中心位置及台风强度,图1a为模拟台风中心附近最大风速和中心最低气压与实况的对比,图1b为模拟台风的路径与实况路径;从模拟台风强度与实况的对比看,不管是风速还是中心气压与实际台风强度加强趋势均保持一致,模拟出了在13日00时~06时有一个风速突然增强气压突然减小的台风强度加强过程,模拟的台风最大风速与实况几乎重合;从台风路径模拟效果来看,模拟路径与实际路径基本一致,进入北部湾后模拟的台风移动速度减慢与实际情况保持一致,后期模拟台风较实际台风登陆越南提前了10个小时左右。总体而言,此次对台风近海加强过程的模拟效果

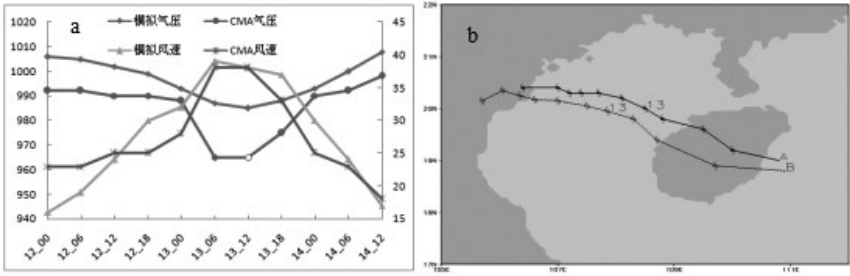


图1 a模拟台风中心附近最大风速和最低气压与实况 b为模拟路径(虚线)与实况(实线)路径

不错,特别是在近海强度突变过程,与实际吻合,因此可以将此次模拟的数据用于“芭玛”台风强度变化过程的再现,为进一步细致研究突然加强过程中台风内部变化情况提供了基本资料。

3 台风突然加强过程内部演变特征

3.1 台风暖心变化特征

台风在加强过程也是其内部暖心结构调整的过程,一般而言台风越强,暖心越明显,为了更好地反演台风“芭玛”在加强过程中暖心变化情况,本文计算了台风中高层各层各格点温度与该层环境平均温度的差值,即温度距平,该距平能够体现该网格点温度高于或低于环境平均温度的情况,再通过将该层上下格点的温度距平进行累加,从而进一步突出台风内部中高层整体暖心强度的变化特征。

图2为从台风突然加强开始时刻(13日00时)到加强到最大值时刻(13日06时)400hPa~150hPa的中高层整体暖心变化情况;从中可以看出,在13日00时台风中心附近的格点温度累加距平最大为24℃,形状为不规则长条形,到13日03时,台风中心附近的格点温度累加距平已经大于27℃,并且24℃等值线较前一时次更加对称,到了13日06时,台风

中心的格点温度累加距平最大值进一步加大到30℃以上,并且形状呈规则的椭圆形,此时台风“芭玛”强度达到在北部湾增强后的最强状态;可见,在台风“芭玛”从快速增强的初始时刻到最强时刻,其中高层内部的暖心发展也极为迅速,形状也从不规则发展为对称椭圆结构,台风中心与其外圈的等值线变得更加密集,同时也说明台风内、外温度梯度在不断加大。

为了更好地展示台风突然加强过程中内部暖心结构的垂直变化特征,绘制了加强过程各格点温度与同层环境平均温度的温度距平垂直剖面如图3所示。在台风“芭玛”突然加强的开始时刻00时,台风中心附近的垂直方向上温度距平最大值位于台风中高层暖心,在400hPa~300hPa高度附近分为两个最大值为4℃的中心,到03时虽然距平中心最大值依然为4℃,但已经合并为一个大的温度距平中心,到06时该距平大数值中心已经加强到5℃以上,此时在台风中低层800hPa附近还出现了一个4℃的正距平中心;反映出台风快速加强过程中受水汽凝结潜热释加强以及台风加强后中心下沉气流干绝热增温共同影响。

由此可见台风“芭玛”突然加强过程中,其内部

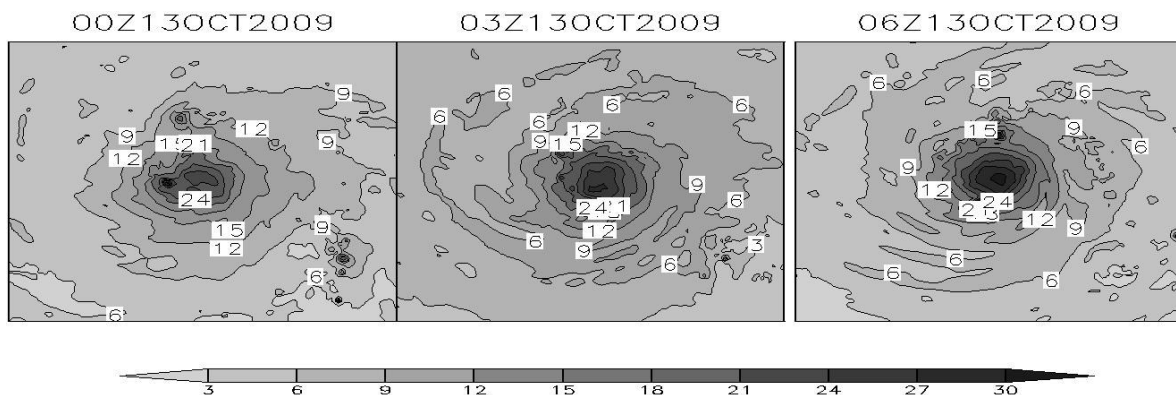


图2 台风加强过程中、高层400hPa~150 hPa各格点与同层环境平均温度累加距平(℃)

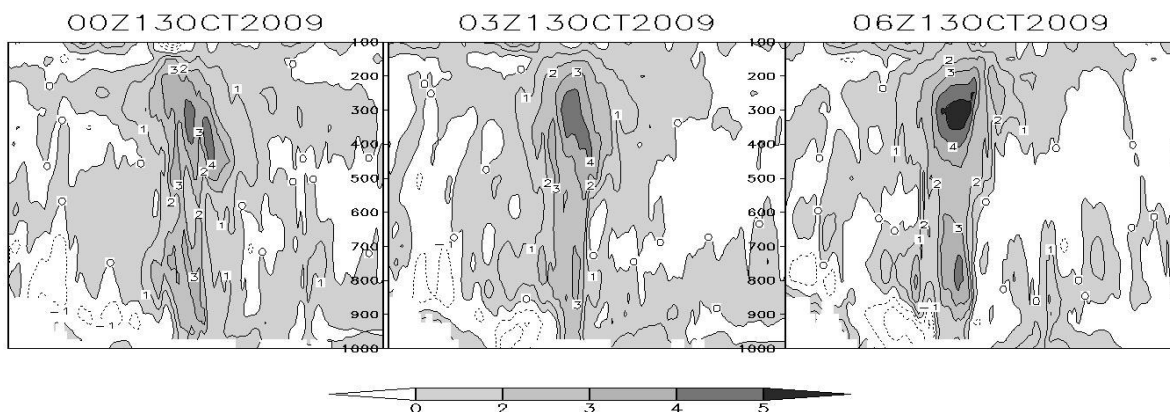


图3 台风加强过程各格点与同层环境平均温度差值的垂直剖面(℃)

暖心结构有显著变化,内核中心温度距平增大的同时,其形状也不断对称化,温度梯度的加大使得台风环流能够更好的组织暖湿气流的卷入,从而促进台风强度的加强和维持。

3.2 台风突然加强过程低层冷空气卷入情况分析

根据黄荣成等^[9]对台风“芭玛”在北部湾突然加强的大尺度环境场影响因子的研究分析,台风“芭玛”北侧附近有一个地面冷高压存在,台风环流将部分冷空气卷入刺激了台风环流圈内对流云系发展,从而促进台风强度加强;但其研究只是基于较大尺度背景的环境场因子进行分析,对于被卷入的弱冷空气到底有多强,怎么刺激台风环流发展没有进一步的研究分析。因此本文通过数值模拟获得更高时空分辨率资料进行了进一步研究分析。

图4为台风突然加强过程中900hPa以内各层的温度累加距平,从图中可以看出,13日00时台风中心附近(方圆150公里)东北、西北、西南三个象限的累加温度距平低于 -16°C (阴影部分),距离台风中心最近的 -20°C 阴影区域大约100km左右,到13日03

时,温度距平低于 -16°C 的阴影区域已经延伸到台风的东南象限,与台风中心距离更进一步, -20°C 的阴影区域距离台风中心位置不足50km,同时在距离台风中心100km左右的西北侧出现了 -24°C 的负距平阴影,到13日06时 -20°C 阴影区域延伸到台风的东南象限,台风中心基本上被 -20°C 阴影区域所包围,且 -16°C 在东南象限的面积进一步扩大,台风西北部出现的 -24°C 阴影区域,同时也出现面积增大情况,由此可见冷空气在台风突然加强过程中是不断被卷入到台风环流低层内部,并且冷空气量在不断增加,几乎占据台风中心低层,而此时台风却是发展到最强时刻,可见弱冷空气在卷入台风低层后对台风强度有促进作用;其原理与锋面对流类似,冷空气被不断从台风环流外围卷入到台风低层内部,与此同时台风环流又不断从海面及环境场中卷入暖湿气流,冷空气将暖湿气流抬升促进对流发展,使得水汽凝结潜热释放促进了台风强度的快速加强,当弱冷空气完全填充台风低层后,台风强度不再进一步加强,而是缓慢衰弱(13日06时之后),其原因是冷空气的

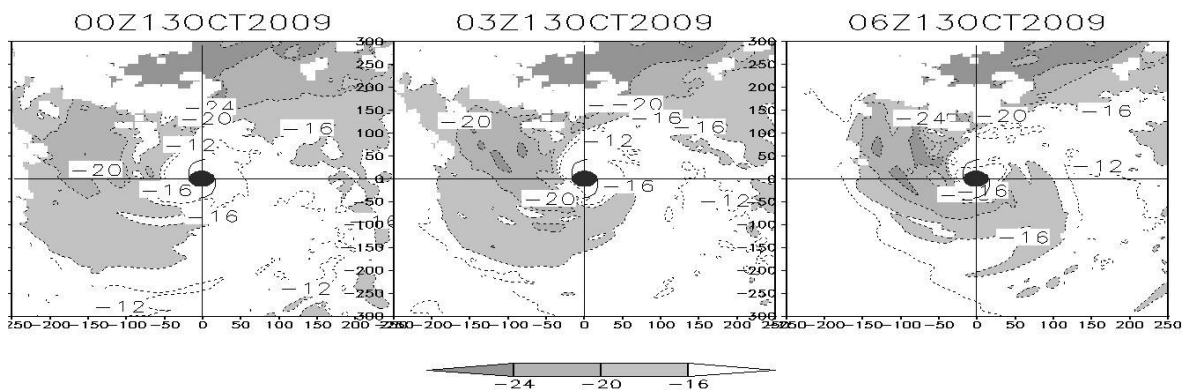


图4 台风加强过程低层900hPa以内的温度与环境平均温度的累加距平($^{\circ}\text{C}$)

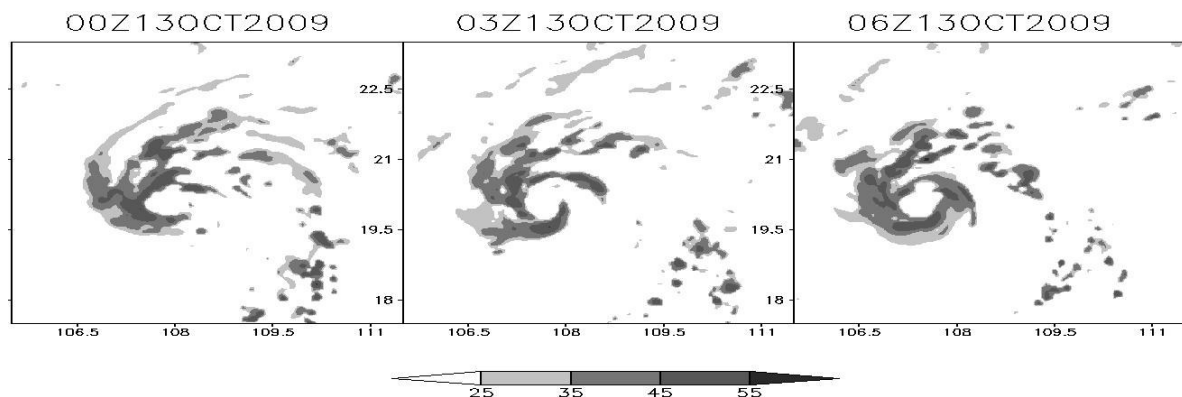


图5 台风加强过程中的最大模拟回波(dbz)

堆积占据台风低层后阻挡了部分来自海面等环境场的暖湿气流来源。从而可以看出, 当弱冷空气在不断卷入台风环流内部但还未完全占据台风低层的时候对台风强度有明显的促进作用。

3.3 台风突然加强过程组织结构变化特征

3.3.1 螺旋结构特征

从模式模拟的台风加强过程中最大雷达回波图来看(图5), 13日00时, 台风中心环流圈呈不闭合状态, 内圈回波主体位于北、西、南三个方向, 东边位明显的缺口, 台风环流外围螺旋回波主体主要位于台风北侧, 距离台风东部的海南岛附近有较多密集的对流回波发展; 到了13日03时台风中心回波环流东部的缺口进一步缩小, 台风北侧螺旋回波与00时相比较更加紧密结合, 海南岛上原本密集的对流回波开始减少减弱, 台风回波结构得到组织加强; 到13日06时, 台风中心内圈呈椭圆形对称结构的密实环状, 东部原先的缺口已被填实, 台风北侧外围的螺旋回波也得到结合加强, 此时海南岛上对流回波较00时减少明显。可见台风“芭玛”在其突然加强过程中存在环流重组情况, 其环流内圈不断对称化发展, 并将其外围的螺旋云系进行重新整合, 将外围周边的

对流云团发展释放的能量不断卷入到台风环流中, 从而使得其强度突然发展。

3.3.2 涡度变化特征

从台风“芭玛”突然加强过程中的500hPa涡度场来看(图6), 00时, $100 \times e^{-6} \cdot s^{-1}$ 的正涡度阴影区为环绕台风中心的松散块状结构, 到03时 $100 \times e^{-6} \cdot s^{-1}$ 的正涡度阴影区开始逐步环绕台风中心形成密实的正涡度圈, 但在北侧还有一缺口存在, 同时台风环流圈内正大于 $50 \times e^{-6} \cdot s^{-1}$ 的涡度区域范围扩大; 到了13日06时, 台风中心已经被 $100 \times e^{-6} \cdot s^{-1}$ 以上的正涡度环流圈包围, 涡度圈也逐渐变化为椭圆形的较为对称的情况。由此可见台风“芭玛”加强过程中存在中层正涡度的一个组织加强过程, 紧密的正涡度环流圈, 使得台风结构不断对称化, 增强了台风的组织能力从而卷入更多松散螺旋对流产生的能量, 台风本体强度获得快速发展。

3.3.3 风场变化特征

图7为台风加强过程中风速的东西向垂直剖面图, 从00时的风速剖面图来看, 台风风速最大值出现在800hPa以下, 位于台风中心的西侧, 最大值为 $35 m \cdot s^{-1}$, 东侧最大值为 $30 m \cdot s^{-1}$ 并且范围极小, 台风

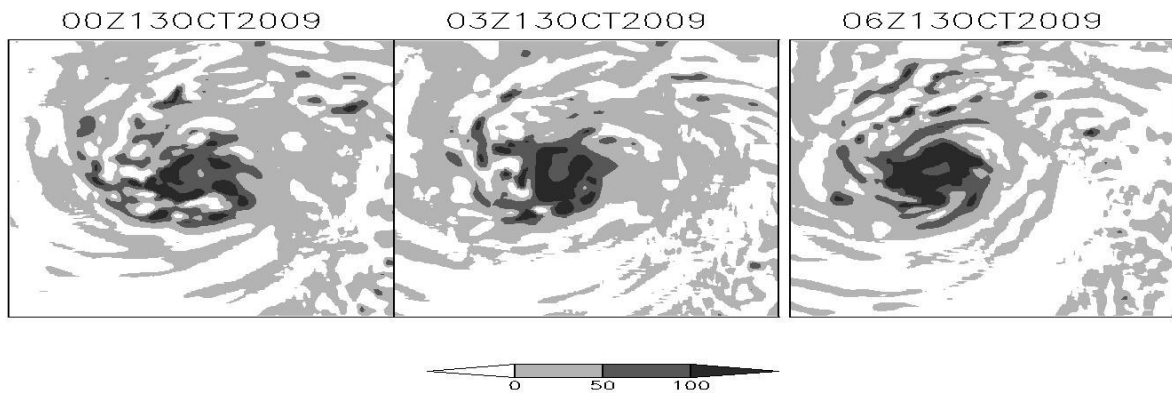


图6 台风加强过程中500hPa相对涡度 ($1 \times e^{-6} \cdot s^{-1}$)

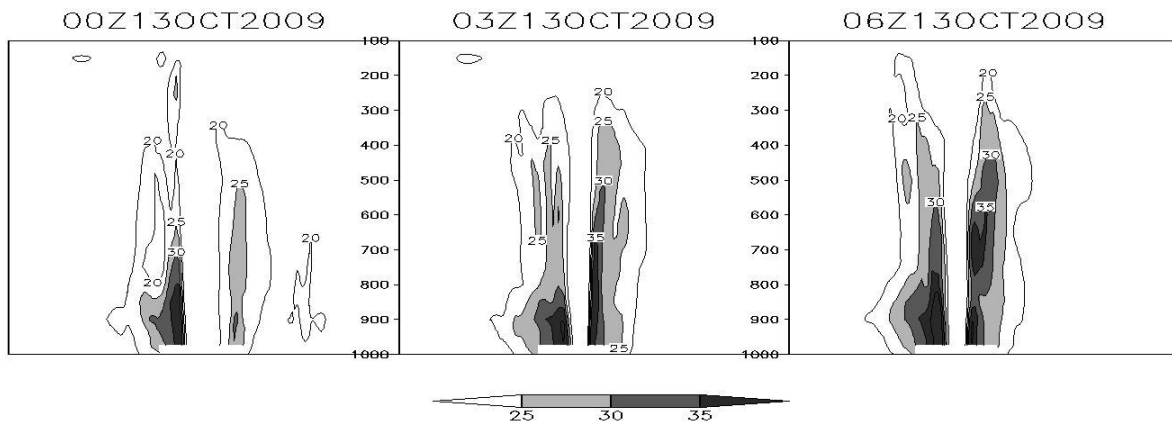


图7 台风突然加强过程中的风速东西向垂直剖面 ($m \cdot s^{-1}$)

环流内部此时的风速东西分布较为不对称,呈东弱西强状态;03时台风内部环流圈风速较00时有所调整,台风西侧大于 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的高度下降到850hPa以内,但台风东侧出现了到700hPa高度的 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 阴影区,台风内部风速得到均匀化发展,台风中心两侧的极大风速壁也相对收窄;到06时台风内部风速基本呈对称分布,最大值均超过 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,此时为台风“芭玛”再次加强后的最强时刻。可见在台风“芭玛”强度突然加强过程中,其内部极大风速带也存在着较为重要的调整,从不对称到对称化,这种风场结构的对称化使得台风更加具有组织松散对流的能力从而加速其强度发展。

4 总结与讨论

本文通过对台风“芭玛”在北部湾近海突然加强过程进行模拟研究,结果表明:

(1)台风“芭玛”突然加强过程中,其内部暖心结构有显著变化,内核中心温度距平增大的同时,其形状也不断对称化,温度梯度的加大使得台风环流能够更好的组织暖湿气流的卷入,从而促进台风强度的加强和维持。

(2)弱冷空气被不断从台风环流外围卷入到台风低层内部,抬升了暖湿气流,使得水汽凝结潜热释放促进了台风强度的快速加强。当弱冷空气完全占据台风中心低层后,台风强度开始衰弱。

(3)台风“芭玛”在其突然加强过程中存在环流重组情况,其环流内圈包括极大风速等的分布不断对称化发展,并将其外围的螺旋云系进行重新整合,将外围周边的对流云团发展释放的能量不断卷入到台风环流中,同时将外围松散正涡度重新组织到台风内部,是其快速加强的重要原因之一。

参考文献:

- [1] 阎俊岳. 近海热带气旋迅速加强的气候特征[J]. 应用气象学报, 1996, 7(1): 28-35.
- [2] 丁治英, 邢蕊, 徐海明, 等. 南亚高压南部环境位涡对台风加强的影响分析[J]. 热带气象学报, 2012, 28(5): 675-686.
- [3] 黄荣成, 雷小途. 环境场对近海热带气旋突然增强与突然减弱影响的对比分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(2): 129-137.
- [4] 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.
- [5] 程锐, 宇如聪, 徐幼平, 等. 台风“云娜”在近海强度变化及结构特征的数值研究Ⅱ: 云微物理参数化对强度和路径的影响[J]. 气象学报, 2009, 67(5): 777-786.
- [6] 陆佳麟, 施春红. 1109号台风“梅花”路径与强度变化的诊断分析[J]. 大气科学研究与应用, 2011, (2): 63-71.
- [7] 于玉斌, 赵大军, 陈联寿. 干冷空气活动对超强台风“桑美”(2006)近海突然增强影响的数值模拟研究[J]. 热带气象学报, 2015, 31(1): 21-31.
- [8] 苏鸿明. 9914号台风近海强度增强的主因分析[J]. 应用海洋学学报, 2001, 20(3): 298-300.
- [9] 黄荣成, 陈见, 赵金彪, 等. 台风“芭玛”在北部湾迅速加强的特征分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(8): 136-146.
- [10] 麦雪湖, 植江玲, 麦文强. 台风“彩虹”(1522)的数值模拟及增强条件分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1): 30-35.
- [11] 李妍君, 陈耀登. 台风“凡亚比”的诊断分析和数值模拟研究[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(3): 1-7.
- [12] 郑峰, 曾智华, 雷小途, 等. 一次近海突然增强台风的个例数值模拟[J]. 浙江气象, 2017, 38(1): 6-13.
- [13] 苏玉婷, 林开平, 肖志祥, 等. 广西沿海地形对超强台风“威马逊”影响的数值试验[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(1): 11-14.
- [14] 官晓军. 0518号台风“达维”近海迅速加强的数值模拟研究[D]. 浙江大学, 2011.
- [15] 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.
- [16] 季亮, 费建芳, 黄小刚, 等. 台风“云娜”(2004)近海加强的数值模拟研究[J]. 气象科学, 2007, 27(5): 530-535.
- [17] 程锐, 宇如聪, 傅云飞, 等. 台风“云娜”在近海强度变化及结构特征的数值研究Ⅰ: 云微物理参数化对云结构及降水特征的影响[J]. 气象学报, 2009, 67(5): 764-776.