

# 1522号强台风“彩虹”近海急剧增强特征及机理分析

刘凯, 宋晓姜, 王彰贵, 郝赛

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

**摘要:** 利用NECP的FNL再分析资料,对1522号强台风“彩虹”在近海急剧增强的特征及机理进行分析。结果表明:“彩虹”强度变化与南亚高压、副热带高压的环流配置存在密切的联系,南亚高压由西部型调整为东部型,并且在我国东部沿海台风中心上方形成一个很强的高压中心,有利于高空辐散的增强,同时500 hPa副热带高压西伸北抬海上水汽输送加强,为“彩虹”的发展提供有利的环境条件;介于-4~4 m/s弱的200 hPa和850 hPa高低层环境风垂直切变是“彩虹”急剧增强的必要条件,并且“彩虹”强度的急剧变化与低层弱的垂直风切变存在显著的滞后相关;台风的暖心结构在台风急剧增强的过程中迅速加强,暖心结构维持较好也是其强度维持的重要因素之一。

**关键词:** 台风个例;近海;急剧增强

**中图分类号:** P444 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-0239(2017)04-0032-10

## 1 引言

热带气旋(Tropical Cyclone, TC)是发生在热带海洋上的强烈天气系统,我国是世界上受TC影响最为严重的国家之一。统计研究表明:平均有16%的TC移到中国近海急剧增强<sup>[1]</sup>。在近海地区,特别是距离海岸线300~400 km的区域,急剧加强并且强度维持的TC对我国影响严重。所以研究近海急剧增强的TC具有重要意义。于玉斌等<sup>[2]</sup>给出了TC急剧增强的标准,并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,发现急剧增强的TC位置不会出现在30°N以北的高纬地区和0°~5°N的低纬地区。影响台风强度变化的主要因素有3方面:海温、大尺度环流场及地形,同时弱冷空气的侵入有利于台风的发展<sup>[3-4]</sup>。寿绍文等<sup>[5]</sup>对爆发性发展台风的合成环境场诊断分析发现,台风爆发性发展时刻低空辐合和高层辐散均增强<sup>[6]</sup>。余晖等<sup>[7]</sup>认为对流层上部环境流场与TC外流之间的相互作用与我国近海TC强度突变存在密切的联

系。强烈的西南季风水汽输送是华南的TC登陆前突然加强的先兆条件<sup>[8]</sup>。

我国气象专家针对近海增强的台风个例做了大量的研究,强热带风暴“黄蜂”登陆前的强烈发展与北方小股干冷空气的侵入导致其位势不稳定加强有关<sup>[9]</sup>;而1010号台风“莫兰蒂”近海增强与丰富的中低层水汽净流入、强烈的低层辐合、高层辐散以及弱的垂直切变等条件密切相关<sup>[10]</sup>。风垂直切变、850 hPa角动量和动能区域平均值的变化对0608号超强台风“桑美”近海急剧增强具有一定的指示意义,超前时间约为18 h<sup>[11]</sup>。这些研究成果对分析近海急剧增强的TC具有一定的参考价值。

前人针对近海急剧增强的TC开展了不少研究,但是每年的业务预报中近海增强的TC,准确预报难度依然很大,给我国沿海省份造成巨大的经济损失和人员伤亡。本文选取2015年我国南海近海急剧增强的强台风“彩虹”,分析其强度急剧变化过程中的结构特征和环流特征,为我国近海TC强度预报提供理论参考和依据。

收稿日期: 2016-08-17; 修回日期: 2016-10-13。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41606032)。

作者简介: 刘凯(1990-),女,助理工程师,硕士,主要从事海气相互作用及短期预报的研究工作。E-mail:15811032956@163.com

## 2 强台风“彩虹”简介

2015年第22号强台风“彩虹”于10月1日17时(北京时,下同)在菲律宾以东洋面( $14.8^{\circ}\text{N}$ ,  $123.2^{\circ}\text{E}$ )生成,路径稳定,并以20 km/h左右的速度向西北偏西方向移动。进入我国南海后强度迅速增强,10月2日20时加强为强热带风暴,10月3日14时发展为台风级别,10月3日23时发展为强台风级别,强度在14日11—14时达到最强,并在4日13时以强台风级别登陆我国广东省湛江市(路径见图1)。登陆后强度没有显著减弱,并沿西北方向继续移动,4日23时减弱为强热带风暴,5日05时减弱为热带风暴,5日11时减弱为热带低压。下午14时停止编号。生命史长达93 h,其中台风级别以上持续33 h。

强台风“彩虹”具有“移速快、登陆强度高、降雨强度大、破坏力强”等特点,是有气象记录以来十月登陆广东省最强的台风,其带来的强风暴雨叠加天文大潮、龙卷风引发泥石流、滑坡等灾害给广东、广西等省造成重大灾害。受“彩虹”的影响广东直接经济损失232.4亿元,累计受灾人口353.4万人,因灾遇难18人。为做好预报总结相关工作,提高台风强度预报能力,更好的服务于海洋防灾减灾事业,针对典型台风个例“彩虹”在近海强度的变化开展机理分析具有重要意义。

## 3 资料和方法

### 3.1 资料介绍

本文利用美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的FNL(Final Operational Global Analysis)再分析资料,该资料一天4个时次(02时,08时,14时,20时),水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ,垂直方向为1 000~10 hPa共26层<sup>[12]</sup>。分析1522号强台风“彩虹”强度急剧变化的特征和机理。

### 3.2 方法介绍

根据于玉斌等<sup>[2]</sup>定义的台风强度急剧增强的标准,分别用12 h风速变化 $\Delta V$ 、6 h气压变化 $\Delta P$ 表示TC强度变化,TC急剧增强的标准:当 $\Delta p < -7.78 \text{ hPa}$ 或 $\Delta V > 7.908 \text{ m/s}$ 为TC急剧增强时刻,当 $\Delta p > 8.30 \text{ hPa}$ 或 $\Delta V < -12.974 \text{ m/s}$ 为TC急剧减弱时刻。综合分析,强台风“彩虹”进入我国近海海域后经历了急剧增强和登陆后急剧减弱的过程(见表1)。10月3日20时、4日02时、08时、14时为台风急剧增强时刻,4日20时为登陆以后急剧减弱时刻。从强台风“彩虹”的大气环流形势、水汽输送通道以及自身内部结构等方面着重分析“彩虹”急剧增强时刻的变化特征和影响因子。

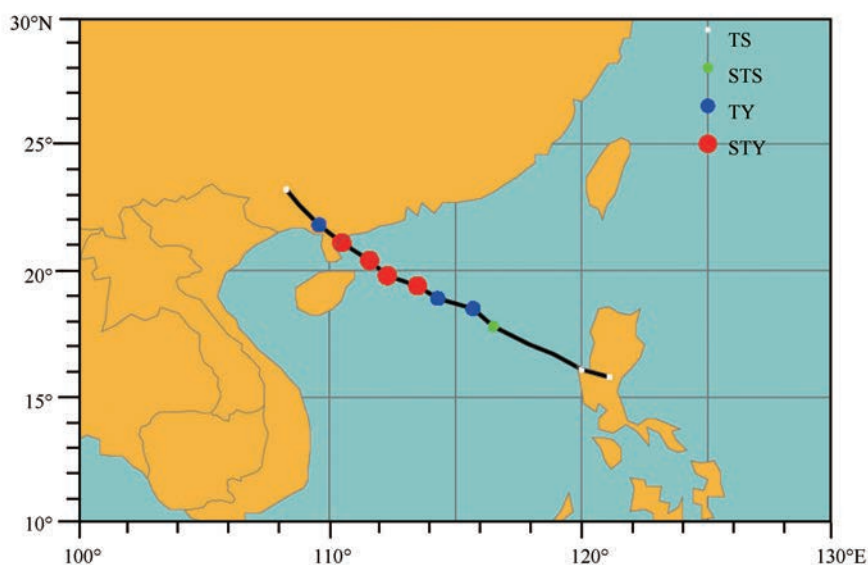


图1 1522号强台风“彩虹”路径及强度随时间的变化

(TS: Tropical Storm, 热带风暴; STS: Strong Tropical Storm, 强热带风暴; TY: Typhoon, 台风; STY: Strong Typhoon, 强台风)

表 1 1522 号强台风“彩虹”基本情况一览表

时间（月/日/时）	中心位置	中心气压 （hPa）	最大风速 （m/s）	6 h 变压 （hPa）	12 h 风速变化 （m/s）	备注
10/2/02	15.8°N/121.1°E	998	18	/	/	/
10/2/08	16.1°N/120.0°E	998	18	0	/	/
10/2/14	16.7°N/118.9°E	990	23	-8	5	/
10/2/20	17.1°N/117.9°E	985	25	-5	7	/
10/3/02	17.8°N/116.5°E	985	25	0	2	/
10/3/08	18.5°N/115.7°E	982	28	-3	3	/
10/3/14	18.9°N/114.3°E	975	33	-7	8	/
10/3/20	19.4°N/113.5°E	965	38	-10	10	急剧增强
10/4/02	19.8°N/112.3°E	955	45	-10	12	急剧增强
10/4/08	20.4°N/111.6°E	950	48	-5	10	急剧增强
10/4/14	21.1°N/110.5°E	940	50	-10	5	急剧增强
10/4/20	21.8°N/109.6°E	980	33	40	/	急剧减弱
10/5/02	22.6°N/108.8°E	985	25	5	/	/
10/5/08	23.2°N/108.3°E	985	18	0	/	/

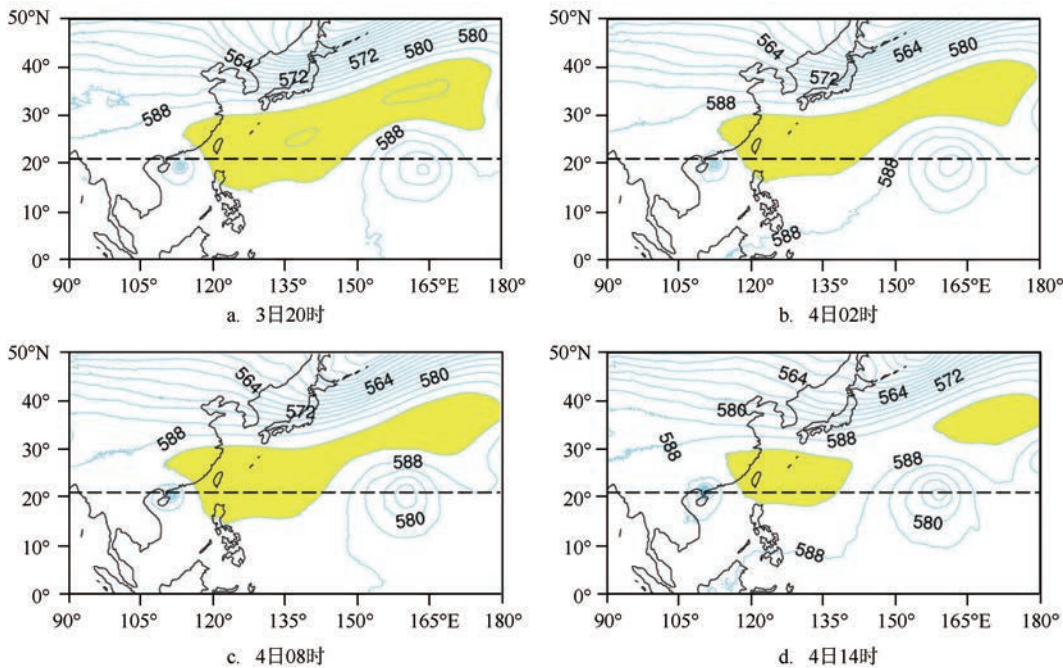


图 2 1522 号强台风“彩虹”急剧增强过程中 500 hPa 高度场(单位:dagpm)分布特征  
(黄色阴影区域代表大于 592 位势什米的区域;黑色虚线表示的是 10 月份副高脊线的平均位置)

4 大气环流变化特征

4.1 台风急剧变化与副热带高压的关系

在 500 hPa 高度上,“彩虹”位于副热带高压(副

高)的西南侧(见图 2),一直受到副高南侧偏东气流的影响,可以提供充沛的水汽。在急剧增强前 12 h (10 月 3 日 08 时),副高出现了显著的增强和北抬,北太平洋海上的高压中心的气压值高达 596 位势什米(图略)。“彩虹”急剧增强的过程中(10 月 3 日 20



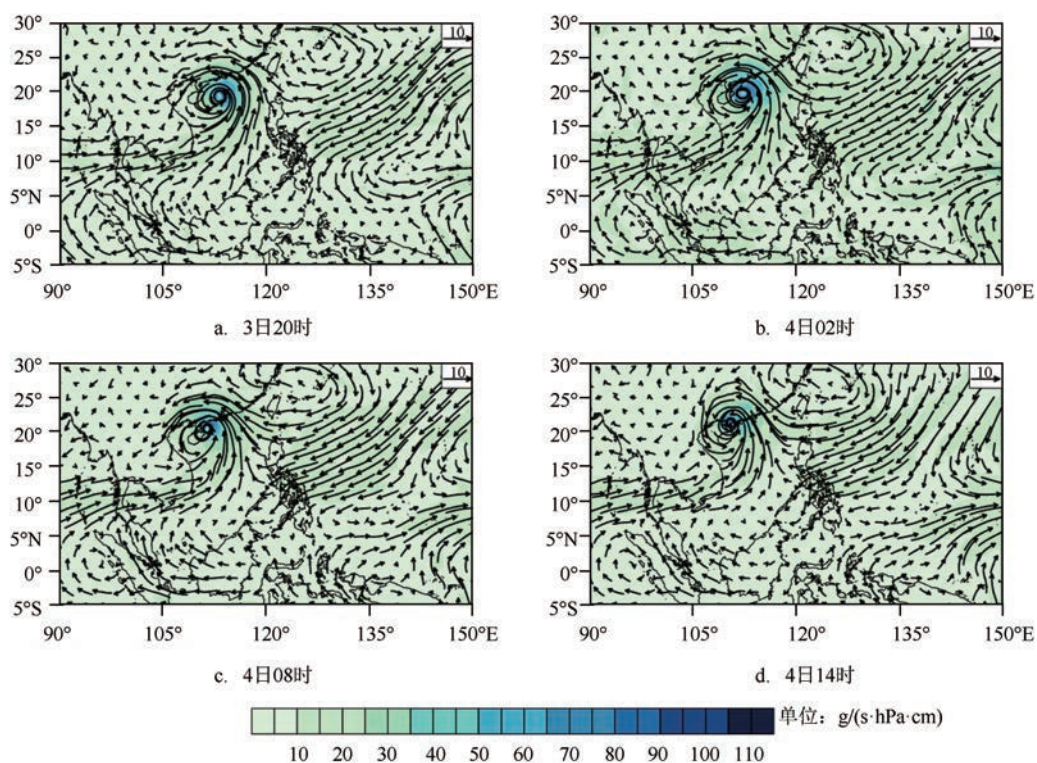


图3 1522号强台风“彩虹”急剧增强的过程中南海及其周边850 hPa流场(单位: $\text{m/s}$ )和水汽通量(色标)分布图

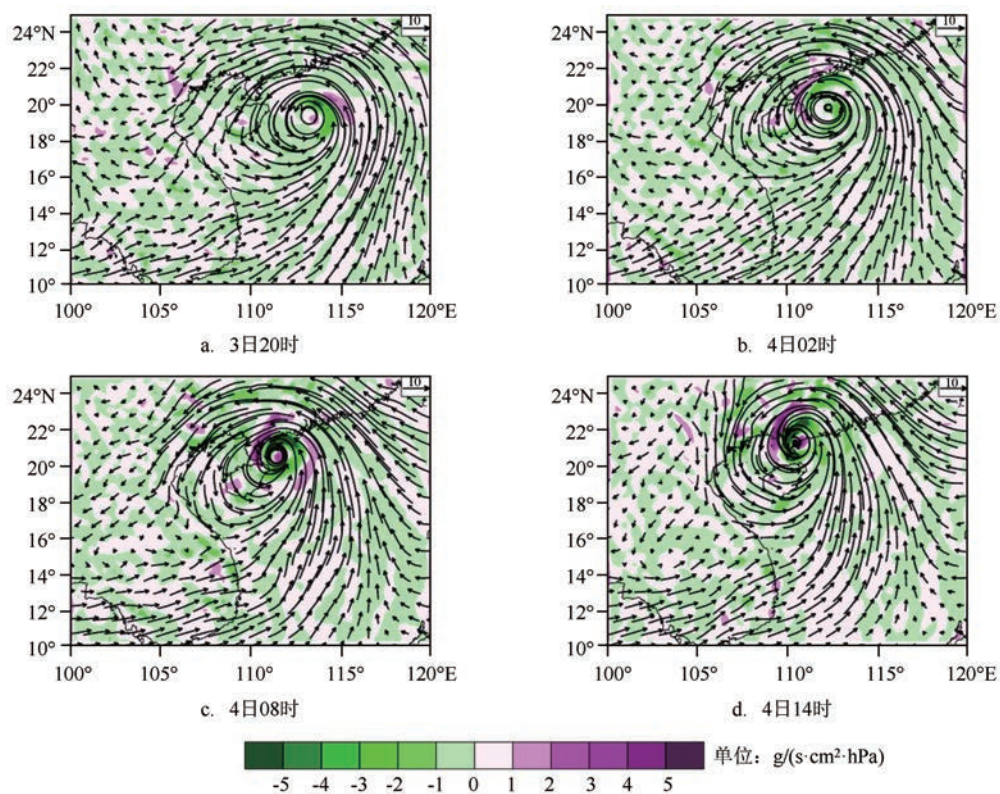


图4 1522号强台风“彩虹”急剧增强的过程中南海及其周边850 hPa流场(单位: $\text{m/s}$ )和水汽通量散度(色标)分布图

时、10月4日02时、10月4日08时、10月4日14时)副高西伸和北抬的特点仍十分显著,副高整体基本在10月平均的副高脊线北侧。在“彩虹”发展后期,副高受到西北太平洋上1523号台风“彩云”的影响,发生断裂,但是西伸副高的强度并没有明显的减弱。这与0608号超强台风“桑美”近海急剧增强的过程存在显著的差异,“桑美”在急剧增强的过程中表现为副高的强度和面积均有所减弱。

在“彩虹”急剧增强的过程中,100 hPa位势高度场上,南亚高压由西部型调整为东部型(图略)<sup>[13]</sup>,并且在我国东部沿海生成一个很强的高压中心,有利于高空辐散的增强,同时亦有利于500 hPa副热带高压西伸北抬和海上水气的输送。可见,“彩虹”强度急剧增强与南亚高压和副高的环流配置存在密切的联系。

## 4.2 水汽通量变化特征

水汽的来源与供给对台风的生成和发展十分重要,台风外围环流将大量的潮湿空气卷入台风,使台风获得潜热得以发展<sup>[14]</sup>。从850 hPa的风场、水汽通量以及水汽通量的散度的分布可以发现(见图3—4),“彩虹”自生成后水汽充沛,在移动过程中,

主要有两个水汽通道:一是来自南海南部以及印度洋的西-西南气流,协同在105°E的越赤道气流一同汇入;二是来自副高南侧的偏东气流。在“彩虹”急剧增强前(10月2日02时—10月3日14时,图略),来自南海南部以及印度洋的偏西气流带来大量的水汽,为“彩虹”急剧增强提供热量和水汽,在台风急剧增强阶段(10月3日20时—10月4日14时),伴随副高的西伸,来自副高南侧的偏东气流显著增强,在台风中心的东北侧存在显著的水汽辐合。充沛的水汽条件,以及副高和南亚高压的环流配置使得台风“彩虹”移动至我国近海时,急剧加强。

## 5 台风的内部结构特征

### 5.1 散度变化特征

良好的台风结构是台风强度加强的重要因素之一,低层辐合流入、高层辐散流出的风场垂直结构有利于台风加强。大量的观测事实和分析总结证明,高空辐散增强对台风强度的加强十分有利<sup>[15]</sup>。图5是台风中心周围 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 不同层次不同时刻的散度分布图(图中所选是在“彩虹”生命史过程中,散度变化最具特点的高度层)。在台风的整个发展过程

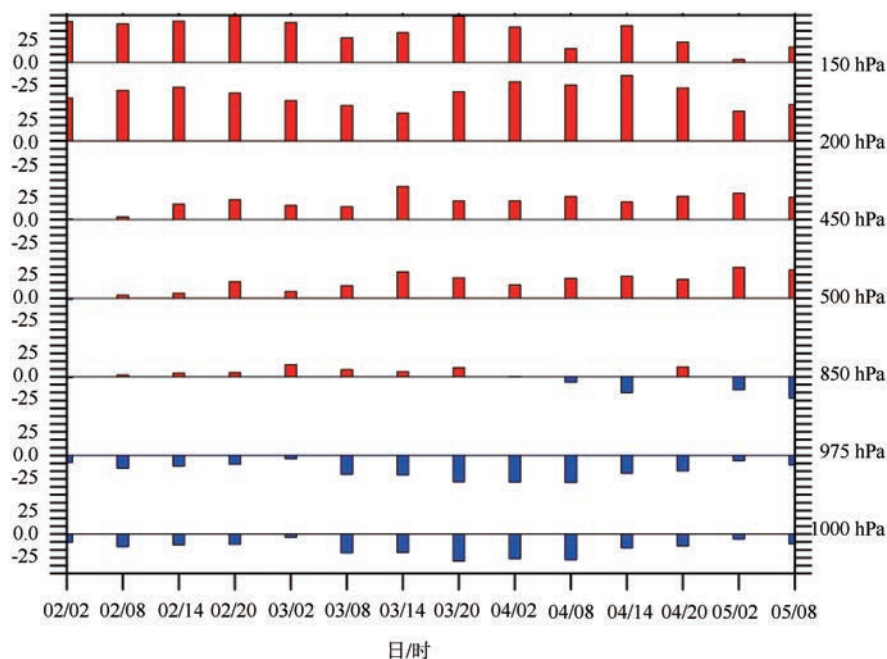


图5 台风“彩虹”中心周围 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 不同时刻不同层次散度值区域平均值(单位: $10^{-5}/s$ )



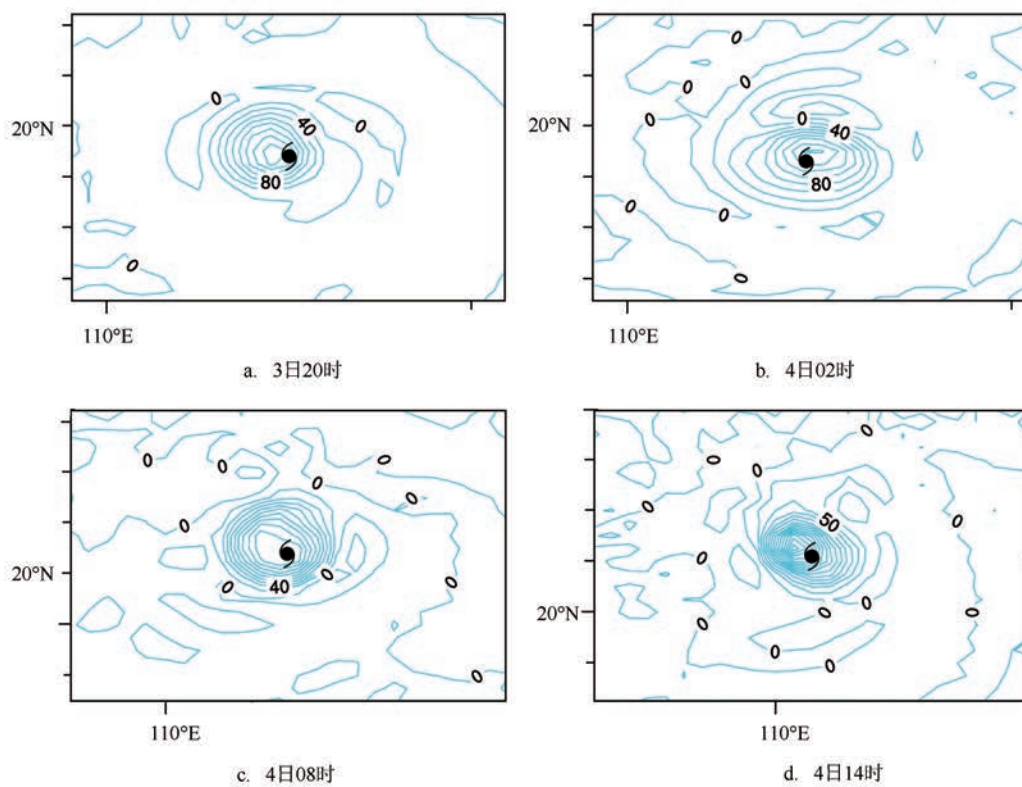


图6 台风“彩虹”急剧增强时刻850 hPa台风中心周围 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 涡度分布(单位: $10^5/s$ )

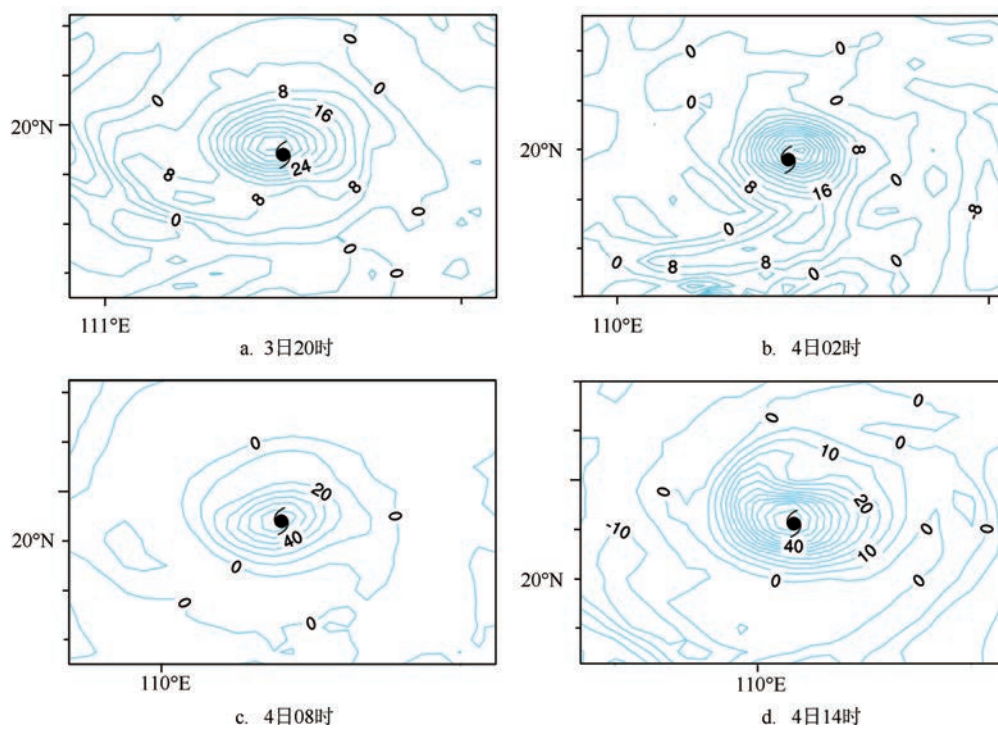


图7 台风“彩虹”急剧增强时刻200 hPa台风中心周围 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 涡度分布(单位: $10^5/s$ )

中,高层的辐散(200 hPa 和 150 hPa)均十分显著,这与南亚高压控制有关。在台风急剧增强阶段(10月3日20时—10月4日14时),无论是高层的辐散还是低层的辐合都显著的增强,辐散大于辐合,高层流出大于低层流入,并且200 hPa的散度值高达 $20 \times 10^{-5}/s$ 以上。强的高层辐散是“彩虹”强度急剧增强并维持的主要原因。

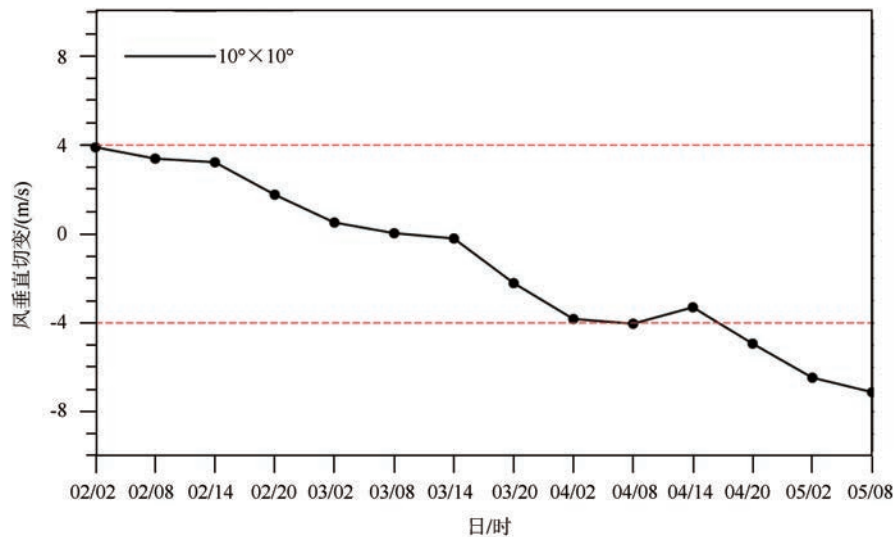
## 5.2 涡度变化特征

“彩虹”在急剧增强的过程中,表现出显著的正

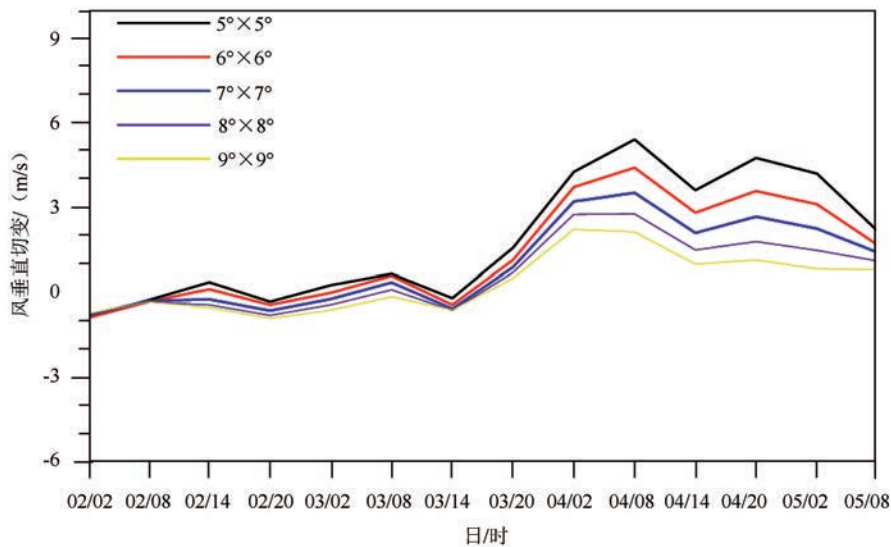
压结构。从850 hPa和200 hPa台风中心周围的涡度分布(见图6—7)可以发现涡度场保持对称分布,使水汽和能量绕台风中心旋转,旋转风动能得以增强,上升运动把东风气流中的水汽输送至高层,水汽凝结,释放出大量潜热,进一步维持台风的暖心结构<sup>[16]</sup>。“彩虹”强度的增强与对流层以下整层涡度的正压结构有密切的联系。

## 5.3 垂直风切变变化特征

环境风垂直切变(Vertical Wind Shear, VWS)反



a. 200~850 hPa



b. 100~850 hPa

图8 风垂直切变区域平均值随时间的变化

映了台风扰动周围的“通风”条件。一般认为垂直切变对台风强度具有抑制作用,但弱的垂直切变有利于台风暖心结构的生成和维持,从而有利于台风的维持和发展,垂直切变介于 $8\sim 15\text{ m/s}$ 之间对TC强度具有重要的抑制作用<sup>[18]</sup>。本文首先利用850 hPa和200 hPa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,以台风位置为中心点选取 $10^\circ\times 10^\circ$ 正方形区域,计算台风强度变化过程中环境风垂直切变的区域平均值(见图8a)。在“彩虹”强度急剧增强前6~18 h(10月3日02时—10月3日14时),风垂直切变减小为0,在“彩虹”急剧增强阶段(10月3日20时—10月4日14时)风垂直切变在主要在维持在 $-4\text{ m/s}$ 左右。“彩虹”强度变化的整个过程中,垂直风切变均较弱,可见,环境场弱的垂直切变为“彩虹”强度的急剧增强提供有力的条件。

Wang等<sup>[18]</sup>利用统计分析方法,分析了西北太平洋TC强度变化与不同层次纬向风切变之间的相关关系,发现1000 hPa和850 hPa低层垂直纬向风切变与24 h后台风强度的相关性更高(相关系数达 $-0.42$ ),并且指出低层风切变介于 $-2.5\sim 2.5\text{ m/s}$ 期间更有利于台风强度的增强。我们采用同样的

方法,计算了台风中心周围 $5^\circ\times 5^\circ\sim 9^\circ\times 9^\circ$ 矩形区域内的区域平均值,来分析“彩虹”急剧增强阶段与低层垂直风切变的对应关系(见图8b)。我们发现在“彩虹”急剧增强之前的阶段,低层的垂直风切变的值都比较小,但是在3日14时之后,低层风切变的值开始变大,这对“彩虹”强度的变化有很好的指示意义,与Wang等的研究结果一致。

#### 5.4 暖心结构变化特征

我们将“彩虹”急剧增强阶段不同时刻沿台风中心所经过的纬度进行剖面(见图9)。随着“彩虹”强度逐渐增强,暖心也明显增强,在“彩虹”急剧增强期间,3日20时的温度距平偏暖 $6\sim 7^\circ\text{C}$ ,4日08时偏暖 $8\sim 9^\circ\text{C}$ ,之后偏暖持续加强至 $10\sim 11^\circ\text{C}$ 。暖心结构最高可达15 km,即台风的主要上升气流可到达这个高度以下。随着“彩虹”强度逐渐增强,暖心范围有向低层扩展的趋势, $8^\circ\text{C}$ 的温度距平线在4日02时位于5 km左右,08时向下扩展到海平面高度附近,14时强度达到最强。弱的垂直风切变有利于台风维持其暖心结构<sup>[19]</sup>,而暖心结构维持较好又是其强度急剧增强和维持的重要因素。

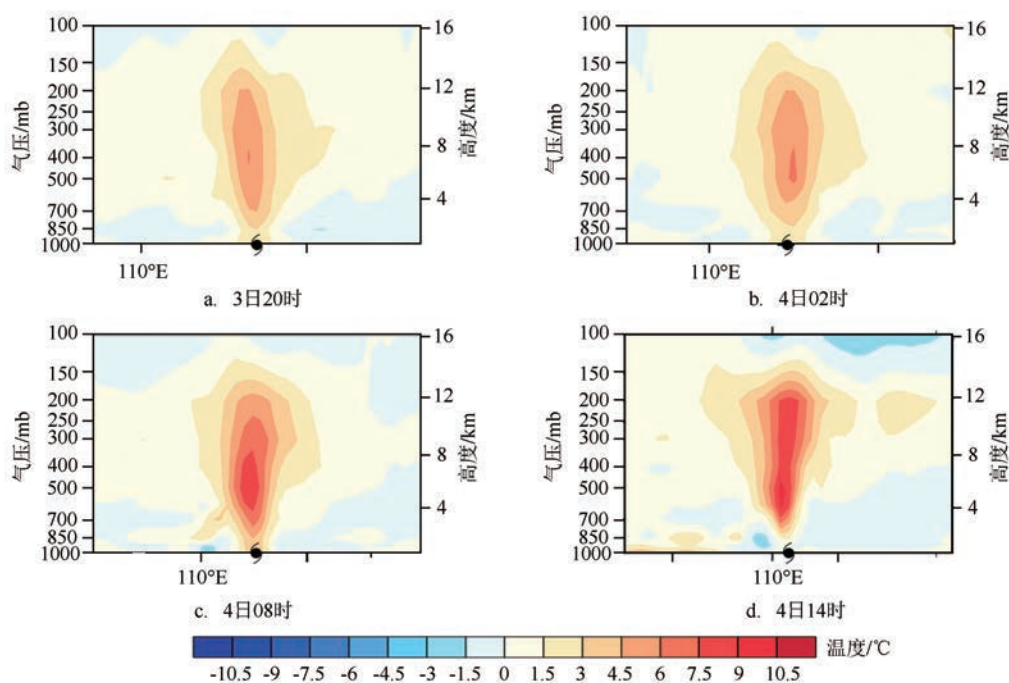


图9 台风“彩虹”暖心结构的变化特征



## 6 结论和讨论

2015年第22号强台风“彩虹”在我国近海经历了急剧增强和登陆后急剧减弱过程,通过对其强度急剧增强过程的分析,主要结论如下:

(1)“彩虹”近海急剧增强与影响其变化的大气环流背景存在密切的联系。在其急剧增强的过程中,100 hPa位势高度场上,南亚高压由西部型调整为东部型,并且在我国东部沿海台风中心上方形成一个很强的高压中心,有利于高空辐散的增强、500 hPa副高的西伸北抬以及副高南侧偏东气流水汽输送的增强;

(2)“彩虹”近海急剧增强与其充足的水汽供应关系密切。“彩虹”急剧增强过程中,主要有两个水汽通道:一是来自南海南部以及印度洋的西-西南气流,并且在105°E的越赤道气流也十分的显著;二是来自副高南侧的偏东气流。在“彩虹”急剧增强前(10月2日02时—10月3日14时),来自南海南部以及印度洋的偏西气流带来大量的水汽,为“彩虹”急剧增强提供热量和水汽,在急剧增强阶段(10月3日20时—10月4日14时),伴随副高的西伸,来自副高南侧的偏东气流显著增强;

(3)在“彩虹”急剧增强阶段,介于-4~4 m/s之间弱的200 hPa和850 hPa高低层垂直切变是台风急剧增强的必要条件。“彩虹”与低层(1 000~850 hPa)纬向风切变存在24 h左右显著的滞后相关,这一显著的相关关系为今后台风强度预报提供一定的依据;

(4)“彩虹”强度的急剧变化与对流层整层涡度的增强存在一致性,并且涡度分布保持对称,使水汽和能量绕台风中心旋转,旋转风动能得以增强,而台风中的上升运动又把东风气流输送的水汽送到高层,水汽凝结,释放出大量潜热,进一步维持台风的暖心结构。由于“彩虹”周围环境场中弱的垂直风切变,使台风的暖心结构在“彩虹”急剧增强的过程中迅速加强,“彩虹”自身结构维持的完整是其在近海急剧增强的重要因素之一。

本文对2015年我国近海急剧增强的强台风“彩虹”进行了特征及机理分析,得出了初步的结论,可为日后预报业务提供一定的参考。我国近海台风

强度急剧变化的发生除了与以上的条件有关外,还可能与海温的分布特征、弱冷空气的入侵等大气和海洋环境存在密切的联系。不同的台风有其特殊的内部结构,并且影响台风急剧增强的环流形势也存在年际尺度、季节尺度和月尺度的变化,由于篇幅有限,我们将在以后的工作中针对不同季节的台风个例在这些方面进一步开展统计与分析工作。

## 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] 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.
- [3] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 225-226.
- [4] 端义宏, 余晖, 伍荣生. 热带气旋强度变化研究进展[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 636-645.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 余晖, 吴国雄. 湿斜压性与热带气旋强度突变[J]. 气象学报, 2001, 59(4): 440-449.
- [8] 于润玲, 余晖, 端义宏. 登陆华南热带气旋强度变化与大尺度环流的关系[J]. 大气科学学报, 2013, 36(5): 619-625.
- [9] 梁建茵, 陈子通, 万齐林, 等. 热带气旋“黄蜂”登陆过程诊断分析[J]. 热带气象学报, 2003, 19(S1): 45-55.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 郑崇伟, 周林, 宋帅, 等. 1307号台风“苏力”台风浪数值模拟[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2014, 53(2): 257-262.
- [13] 刘蕾, 陈茂钦, 李煜, 等. 超强台风“威马逊”近海急剧加强特征及诊断分析[J]. 气象科技, 2015, 43(6): 1149-1156.
- [14] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 3版. 北京: 气象出版社, 2000: 489-489.
- [15] 赵小平, 朱晶晶, 吴慧, 等. 1321号台风“蝴蝶”强度变化特征和影响因素分析[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(3): 404-411.
- [16] 谭燕, 许晓林, 张维, 等. 0801号台风“浣熊”(Noguri)特征分析及预报效果检验[J]. 大气科学研究与应用, 2010, (1): 32-46.
- [17] 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.
- [18] Wang Y Q, Rao Y J, Tan Z M, et al. A statistical analysis of the effects of vertical wind shear on tropical cyclone intensity change

over the western north pacific[J]. Monthly Weather Review, 2015, 143(9): 3434-3453.

[19] 钱燕珍, 张胜军, 黄奕武, 等. 强台风“海葵”(1211)近海急剧增强的数值研究[J]. 热带气象学报, 2014, 30(6): 1069-1079.

## The features and mechanism analysis on rapid intensity change of NO.1522 typhoon “Mujigae” over the offshore of China

LIU Kai, SONG Xiao-jiang, WANG Zhang-gui, HAO Sai

(National Marine Environment Forecasting Center, Beijing 100081 China)

**Abstract:** Most tropical cyclones weaken or their intensity remains unchanged over the offshore of China, while some tropical cyclones intensify rapidly. Based on the FNL reanalysis data from NCEP, the characteristics and mechanisms of a significant enhancement in the coastal waters of the strong typhoon Mujigae are analyzed. The results show that the rapid intensify of Mujigae has a close relation with the large scale atmospheric circulation. During the rapid intensification stage, the South Asia high changes from western pattern to eastern pattern with a strong anticyclone center over the center of the typhoon in the eastern China coastal waters, which is in favor of the enhancement of the divergence at upper level. The enhanced vapor transport is also helpful to the westward and northward extension of the subtropical high. The critical vertical shear between 850 and 200 hPa with magnitude of  $-4\sim 4$  m/s is an essential condition of typhoon rapid intensification over the offshore of China. There appears to be a time lag between the change of low level (850~1000 hPa) vertical wind shear and the typhoon intensity rapid change. The sharp intensify of the Mujigae is accompanied with the warm core of the typhoon strengthened rapidly. The warm core maintains a better structure which could be an important factor to maintain its strength.

**Key words:** typhoon case; offshore; rapid intensify