

钱维宏,张广文,黄静. 2015. 不同资料大气扰动分量对 2010 年台风鲇鱼强度变化的描述. 气象, 41(7):806-815.

# 不同资料大气扰动分量对 2010 年 台风鲇鱼强度变化的描述<sup>\*</sup>

钱维宏 张广文 黄 静

北京大学物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871

**提 要:** 基于模式分析和再分析资料绘制的天气图是诊断和预报极端天气事件的常用方法。近年来的研究表明, 这些资料中的气象变量分解为瞬变气候和扰动两个分量后, 其中的扰动分量不但能够很好地指示地面上发生的暴雨落区、热浪与低温的位置, 也能指示极端天气事件的异常强度。本文以近年来研究者们广为关注的 2010 年台风鲇鱼为例, 首先分析四家气象机构对台风强度估计的不一致性, 并比较不同分析与再分析资料中大气变量对台风强度的描述; 然后描述欧洲再分析资料分解的高度扰动和温度扰动之间存在的静力平衡关系, 得到大气扰动分量可以直接指示台风强度随时间的相对变化。本文研究指出, 各家发布的路径资料以及再分析资料对台风的定强都有差异, 但大气变量分解后的扰动分量对台风强度变化有一定指示意义, 可为诊断和预报提供参考。

**关键词:** 台风, 强度, 大气变量, 分解, 异常天气图

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 07. 002

## Intensity Evolution of Typhoon Megi (2010) Revealed from Anomaly-Based Atmospheric Variables

QIAN Weihong ZHANG Guangwen HUANG Jing

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Peking University, Beijing 100871

**Abstract:** Analysis and reanalysis datasets derived from numerical models are commonly applied in diagnosing and forecasting weather extremes by using traditional synoptic charts. Recent studies have showed that any atmospheric variable from these datasets can be naturally decomposed into climatic and anomaly-based components while the latter can be used to locate regional heavy rains, heat waves and low temperature, and also to indicate the intensity of these extreme weather events. This paper focuses on the analysis of anomaly-based variables using different datasets during the lifetime of super Typhoon Megi (2010) because it has been studied recently by several researchers. The inconsistency of typhoon intensity estimated from four meteorological centers in China, Japan and the United States is first analyzed. A hydrostatic balance relationship from both height and temperature anomalies is described from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) re-analysis interim reanalysis. The results show that the anomaly-based variables can be used in indicating the evolution of typhoon anomalous intensity. This work can provide an useful reference for applying the output products of medium-range weather forecast models to the prediction and diagnosis of typhoon intensity.

**Key words:** typhoon, intensity, atmospheric variable, decomposition, anomalous synoptic chart

\* 国家自然科学基金项目(41375703)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306032)共同资助  
2014 年 8 月 28 日收稿; 2015 年 5 月 14 日收修定稿  
第一作者: 钱维宏, 主要从事天气气候方面的研究. Email: qianwh@pku.edu.cn

## 引 言

强度突变和路径异常的台风,以及暴雨、低温和热浪等仍然是难以提前几天做出准确预报的高影响(极端)天气。这些天气的发生对生命财产有着直接的影响。暴雨可以形成洪涝,甚至在山区形成泥石流。低温雨雪冰冻和热浪是两种冷暖不同的极端天气,可以同样地影响人们的生产生活和生态环境。一些台风到达我国近海时突然增强和转向,都是当前预防的难题(倪钟萍等,2013)。用高空分析和数值模式同化气象变量绘制的天气图是研究和预报这些极端天气事件的常用方法。但这种天气图中包含与极端天气事件有关的和无关的信息。近年来的研究表明,把气象变量分解为瞬变气候和扰动两个分量后,其中的扰动分量能够很好地指示地面上发生的暴雨落区(钱维宏等,2012;钱维宏等,2013b),以及热浪(丁婷等,2012)与低温(张宗婕等,2012;钱维宏等,2013c;江漫等,2014)的发生位置和强度,也可以预示南海台风的突然转向(Qian et al, 2014b)。本文以近年来研究者广为关注的 2010 年台风鲇鱼为例,论述大气扰动分量不但可以诊断其突然转向,还可以揭示它的强度随时间变化出现的极值。

2010 年台风鲇鱼在强度和路径方面都表现出了异常的特征。2010 年 10 月 11 日 12 时,美国联合台风警报中心(JTWC)对形成在菲律宾以东太平洋上的一个热带扰动给出了台风编号。10 月 17 日,当它登陆菲律宾前,几家主要预报中心估计的海面气压达到最低。10 月 18 日“鲇鱼”登陆菲律宾并进入南海后于 19 日突然右转再次增强。除了登陆菲律宾造成的灾害外,台风转向后到达台湾海峡时也给台湾和福建沿海造成了巨大的灾害。对台风鲇鱼路径的突然右转国际上的主要预报中心都没有能够提前做出预报(Qian et al, 2013)。对这个台风,目前已有多篇文章集中于它的转向和强度方面的研究(曹晓岗等,2012;许映龙,2011;Wang et al, 2013;Wang et al, 2014;Qian et al, 2013;2014b)。相关工作主要集中于对台风登陆菲律宾之前的强度研究,对该台风进入南海后和登陆中国大陆前的强度研究尚未见到。

台风的定位和定强,近海(沿岸)与远海采用的方法不同。远海缺少地面观测站,气象卫星成为台风定位和定强的主要手段。目前,国际上采用

Dvorak (1975)方法确定台风中心位置和强度。Dvorak 方法,首先根据台风的卫星云型确定强度指数,再由经验关系得到台风近中心最大风速,最后根据风压关系确定台风中心海平面最低气压。当台风移入近海时,多普勒天气雷达在较高的时空分辨率上(460 km 内)可以成为监测台风位置和强度的主要技术手段。一旦台风靠近近海或登陆时,沿岸及海岛、船舶、石油平台等地面自动站可为台风定位和定强估测提供更准确的参考。由此可见,台风定位和定强是基于卫星云图、雷达回波和观测站估算出来的。因此,远在大洋和远海的台风位置和强度估算误差会较大。一般来说,台风达到一定的强度后,定位误差会比较小,但定强误差不一定小。本文以 2010 年台风鲇鱼为例考察其扰动强度随时间的相对变化。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

本文使用了三种来源的大气变量资料。其一是欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的再分析资料(<http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/index>),包括温度、位势高度和风等大气变量,空间分辨率为  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ ,时间分辨率为 6 h(Dee et al, 2011)。其二是美国环境预报中心(NCEP)提供的 FNL(Final Operational Global Analysis)全球分析资料(<http://dx.doi.org/10.5065/D6M043C6>),包括的变量是海平面气压和位势高度,空间分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,时间分辨率为 6 h。这套实时资料融合了大量的观测及卫星反演资料,被广泛用于数值模式和天气诊断分析研究中。三是美国 NCEP/NCAR 再分析资料 1(<http://www.esrl.noaa.gov/psd>)中的位势高度和温度变量,空间分辨率是  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,时间分辨率同样为 6 h。第一套资料采用的是四维同化技术,而后两套资料是三维同化技术。再分析资料是事后模式同化了尽可能多的地面与高空观测、卫星观测和船舶观测后的模式输出产品。再分析资料虽然不是实时(滞后)的,但由于包含的原始信息多并且经过了数值模式的同化处理,所以它在研究中有独特的优势。

本文所用台风强度均指近中心最低海平面气压。所用资料来自国际热带气旋最佳路径资料库

(International Best Track Archive for Climate Stewardship, IBTrACS) 中西北太平洋 4 个主要资料中心: 美国联合台风警报中心(JTWC)、日本东京台风中心(JMA RSMC Tokyo)、中国气象局(CMA)和香港天文台(HKO)。各资料中心在整编台风资料时,以 Dvorak 方法为主,再综合分析所能收集到的其他各类资料,在确定台风路径及强度方面具有主观性(余晖等,2006)。由于定义的热带气旋强度标准不同,所能收集到的资料参差不齐等原因,各资料中心确定的台风近中心最大风速和中心最低海平面气压之间往往存在一定的差异(刘喆等,2008;邹燕等,2009;余锦华等,2010;鲁小琴等,2013;黄丽娜等,2013)。

美国联合台风警报中心(JTWC)事后依据各种观(探)测资料进行综合分析判断,并与美国国家气候数据中心(NCDC)数据库、美国海军数字气象和海洋学研究中心(FNMOC)数据库、台风自动预报系统(ATCF)数据库进行对比,最终确定台风最佳路径及强度(Chu et al,2002)。中国气象局(CMA)依据卫星红外或可见光云型来确定台风中心位置及强度,再结合地面资料、雷达资料以及云图的增强显示、动画显示等手段进行定位校正(杨何群等,2012;Ying et al,2014)。日本东京台风中心(JMA RSMC TOKYO)综合利用静止卫星、极轨卫星云图、云导风矢量资料(Kishimoto et al,2013)、AMSU-A 的温度探测资料、TRMM 的微波多波段探测资料等确定台风路径及强度(Kishimoto,2008)。香港天文台(HKO)利用经加工处理的红外线卫星图片上云顶温度的分布和变化、螺旋雨带的形状,以及相关气象站和测风站网络观测资料,推断风暴中心的位置及强度(<http://gb.weather.gov.hk/informtc/track-inc.html>)。

## 1.2 方法

根据我们近期的研究,任一大气变量场都可以分解成为瞬时的气候分量场和相对气候的扰动场两个部分(Qian et al,2014b)。前者为准静态的,反映了太阳辐射与下垫面辐射达到平衡的状态,而后者是相对这个瞬时平衡态的偏差。理论上,基于扰动场的天气系统是产生极端(异常)天气事件的直接原因。所以,大气变量分解后的扰动场分析是极端天气预报的基础。这里的天气分析分解与以前人们的气候分析分解存在时间尺度上的不同。气候分析分

解使用的时段多以月和季为时间单位(Zebiak et al,1987;Peixoto et al,1992;van den Dool,2007)。一个月的降水和温度平均可能是正常的,但多数情况下它们的每 5 天或每 10 天的平均是异常的。逐日天气的异常恰恰是日常天气需要预报的对象。

根据以上的约定,任一大气变量场  $F_d(\lambda, \varphi, p, t)$ ,如观测时刻  $t$ (每年的第  $d$  天的第  $t$  时刻,每天 24 h)的位势高度、温度和风可以分解为气候场  $\tilde{F}_d(\lambda, \varphi, p)$  和扰动场  $F'_d(\lambda, \varphi, p, t)$ (钱维宏,2012a;2012b;Qian et al,2014b;2014c),即

$$F_d(\lambda, \varphi, p, t) = \tilde{F}_d(\lambda, \varphi, p) + F'_d(\lambda, \varphi, p, t) \quad (1)$$

式中, $\lambda, \varphi$  和  $p$  是大气变量所在点的位置经度、纬度和气压层次,下标  $d(1 \sim 365)$  是资料所在日相对每年 1 月 1 日的第  $d$  日。

气候场由 30 年(1981—2010 年)的观测和分析与再分析资料得到

$$\tilde{F}_d(\lambda, \varphi, p) = \sum_{t=1981}^{2010} F_d(\lambda, \varphi, p, t) / 30 \quad (2)$$

这里假定,在这 30 年中第  $d$  日的同一时刻,正的和负的瞬时扰动相互抵消了,得到的是准平衡的瞬时气候态。由式(2)定义的气候是逐小时和逐日变化的,它是用历史资料计算(估算)出的,不需要预报。这一分解方法已经在我国的区域暴雨和极端温度事件分析中得到了应用(钱维宏等,2013a;2013b;江漫等,2014;Qian et al,2014a)。

## 2 台风鲇鱼的强度变化特征及各资料的表征

利用 IBTrACS 中的 2010 年台风鲇鱼强度序列,鲇鱼形成后的几个特征给出在图 1 中。2010 年 10 月 17 日 12 时(世界时,下同)是当时估计的最强时刻,为超级台风,位置在登陆菲律宾之前的东部海上。18 日 06 时登陆菲律宾,减弱为台风强度。21 日 06 时,欧洲再分析资料显示台风达到最强。可见,这个台风何时最强是有争议的。23 日 06 时,台风在中国东南沿海登陆。在移动路径上,这个台风最显著的特点是进入南海后突然向北转向,而所有业务中心在转向前的预报路径是向西北偏西移动,逐渐向海南岛靠近的(许映龙,2011;钱传海等,2012)。利用上述分解的方法,Qian 等(2014c)分别发展了基于气候场的 Beta-平流模式(CBAM)、基于扰动场的 Beta-平流模式(ABAM)和同时考虑气候

场与扰动场的广义 Beta-平流模式(GBAM)。提前 2~3 d 的预报结果是:CBAM 预报的路径受气候引导气流作用,继续向西移动;ABAM 预报的路径受扰动系统的相互作用,原地打转;GBAM 预报的路径与实况一致。这一结果表明,台风的移动在受到气候气流引导作用的同时,也与周围的扰动系统发生相互作用,后者是台风发生异常运动的主要原因。台风鲑鱼在 19 日的突然转向和 21 日的增强与分解后来自中国大陆上空的一个扰动涡旋相互作用并发生合并有关(Qian et al, 2014b)。

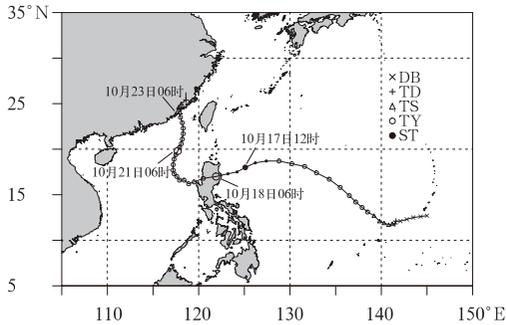


图 1 2010 年台风鲑鱼的 JTWC 最佳路径和关键点

(DB:热带扰动;TD:热带低压;TS:热带风暴;TY:台风;ST:超级台风;世界时)

Fig. 1 Best track and key time points of Megi (2010) based on JTWC database

(DB: disturbance; TD: tropical depression; TS: tropical storm; TY: typhoon; ST: super typhoon; UTC)

台风的强度预报比路径预报的难度更大(钱传海等, 2012)。图 2 给出了四家中心对台风鲑鱼强度的估计。估计的台风鲑鱼第一次达到最强(中心气压最低)是在 2010 年 10 月 17 日,但各家给出的最低气压值和时间有差异。以台风最强盛的时刻为例, JTWC 给出的中心最低气压值 903 hPa 在 17 日 12 时,而 TOKYO 给出的中心最低气压 885 hPa 是在 17 日 18 时和 18 日 00 时。其他两家的中心最低气压值相同(895 hPa),是在 17 日 12—18 时。18 日,在台风登陆菲律宾的 12 小时内,各家给出的中心气压都出现了一致的升高。19 日台风进入南海后,各家估计的中心气压都有一次降低,即台风再次增强的过程,但时间差异较大。CMA 和 HKO 有一个相同的低值时段从 19 日 18 时至 21 日 18 时,但 JTWC 和 TOKYO 的最低气压值分别给出在 20 日 00—06 时和 21 日 06—12 时。而事后欧洲再分析资料显示的该台风达到最强是在 21 日 06 时。这些差异说明,台风强度的估计存在很大的不确定性。

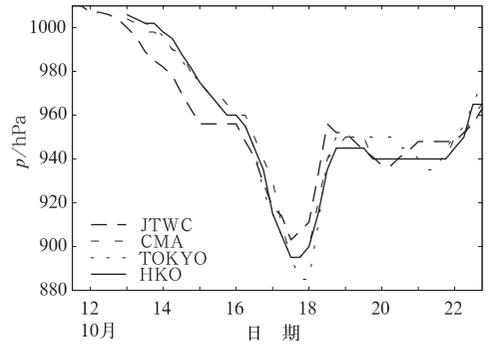


图 2 美国(JTWC)、中国气象局(CMA)、日本东京台风中心(TOKYO)和香港天文台(HKO)确定的 2010 台风鲑鱼中心的强度(单位: hPa)每 6 小时序列

Fig. 2 Center pressure time series (6 h interval) of Typhoon Megi (2010) based on JTWC, CMA, TOKYO and HKO database

美国 FNL 的分析资料实时地融合了大量的观测及卫星反演资料,是模式输出的格点资料,可成为有限区域数值天气预报模式的初始场。FNL 分析资料的优势在于其不但覆盖全球的分辨率高( $1^\circ \times 1^\circ$ ),而且在全球观测的 6 h 后就可以下载到资料。由于这套资料的时间长度不够 30 年,我们还不能直接用式(2)估算得到它的气候场。图 3 是由 FNL 资料绘制的台风中心位置处的海平面气压、1000 hPa 高度、700~850 hPa 平均高度。FNL 的最低气压出现的时间在 18 日 06 时,次低值在 20 日 00 时和 17 日 12 时,无论强度和时间上都与 JTWC 给出的台

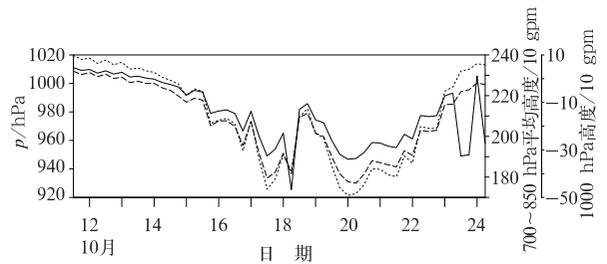


图 3 美国 FNL 资料绘制的台风鲑鱼中心位置处的海平面气压(实线)、1000 hPa 高度(点线)和 700~850 hPa 平均高度(虚线)的时间序列(每 6 小时)

Fig. 3 The time series (6 h interval) of surface pressure (solid line), 1000 hPa height (dotted line) and 700~850 hPa average height (dashed line) over the center of typhoon Megi (2010) based on FNL database

风中心最低气压有偏差。从图 3 中注意到,最大的偏差是 1000 hPa 高度和 700~850 hPa 平均高度,它们的最低值不是在 17 日,而是在 20 日 00—06 时,这时台风已经在南海转向右移。

利用欧洲 ECMWF 再分析资料也可以绘制图 4a 中的 1000 hPa 层上的总高度和分解后的气候高度与扰动高度。总高度和高度扰动在 17 日的 06 时有一次小的波动,最低值出现在 21 日 06 时。气候高度的最低值是在 19 日 06 时,反映的是 1000 hPa 气候槽。台风发展到一定强度后,700~850 hPa 层的高度值降低是有明显表现的。图 4b 中,700~850 hPa 层的总高度和高度扰动最低值都出现在 21 日 06 时。有趣的是,300 hPa 上的总温度和温度扰动最大值也出现在 21 日 06 时(图 4c)。图 4 中各要素还反映出了日循环变化,由于每天只有 4 个时次,这里对此不给予具体的分析。

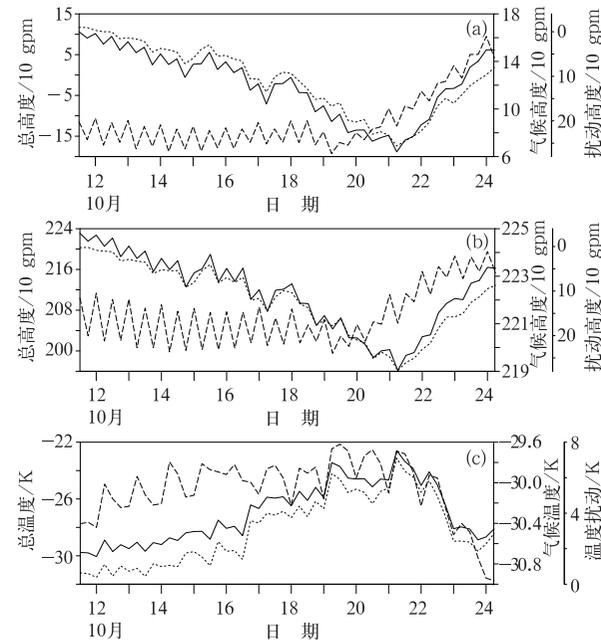


图 4 欧洲 ECMWF 再分析资料绘制的台风中心上方各气象变量及其分解变量的时间序列(每 6 小时)  
(a) 1000 hPa 上的总高度(实线)、气候高度(虚线)和高度扰动(点线), (b) 700~850 hPa 层平均的总高度(实线)、气候高度(虚线)和高度扰动(点线), (c) 300 hPa 上的总温度(实线)、气候温度(虚线)和温度扰动(点线)  
Fig. 4 Time series (6 h interval) of variables over the center of Typhoon Megi (2010) based on ERA-Interim reanalysis; total (solid line), climatic (dashed line) and anomalous (dotted line) heights at (a) 1000 hPa, (b) 700—850 hPa, and (c) total (solid line), climatic (dashed line) and anomalous (dotted line) temperatures at 300 hPa

作为比较,我们也给出了美国 NCEP/NCAR 再分析资料 1 与欧洲再分析资料相同变量在相同层次上的时间序列(图 5)。美国再分析资料不但空间分辨率低,而且采用的是三维同化技术。所以,这些序列的平均值和气候值与欧洲再分析资料的结果之间都存在差异。我们这里只比较它们对台风鲑鱼强度极值出现时间上的差异。1000 hPa 总高度序列反映的该台风强度有一个低值时段,从 18—21 日,而高度扰动最低值出现在 21 日 00 时。700~850 hPa 层平均的高度扰动最低值出现的时间在 21 日 00 时。300 hPa 温度扰动的最高值出现的时间在 20 日 06 时,次高值在 21 日 00 和 06 时。可见,两套再分析资料分解得到的最低高度扰动值出现在 21 日,而不是在 17 日。

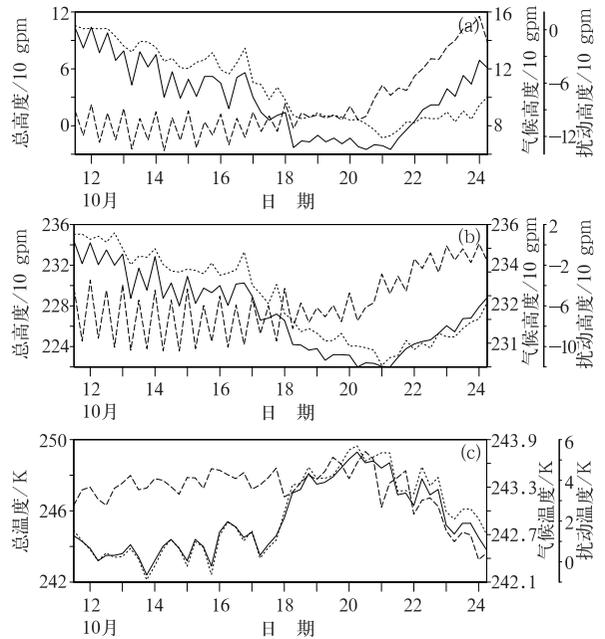


图 5 同图 4,但为美国 NCEP 再分析资料 1 绘制的台风中心上方各气象变量及其分解变量的时间序列(每 6 小时)

Fig. 5 Same as Fig. 4 except for time series (6 h interval) of variables over the center of Typhoon Megi (2010) based on NCEP Reanalysis 1

### 3 欧美分析和再分析资料的分解分析

从图 2~图 5 中看出,分析和再分析气象资料中的台风强度与各气象中心估算的台风中心气压强度之间存在很大的差异。差异主要表现在:是否台

风在过菲律宾前后各有一个增强的过程? 哪个过程的中心气压(或高度)最低? 增强的过程中不同的对流层大气变量各有什么表现? 这部分,我们通过对大气变量分解的方法考察分析和再分析资料对台风强度的指示能力。

在四家气象中心给出的台风中心海平面气压序列(图 2)中,除了 TOKYO 的最低值在 17 日 18 时至 18 日 00 时外,其他三家给出的台风中心气压最低值的时间是在 10 月 17 日 12 时。但三套模式分析和再分析资料(图 3~图 5)中那些扰动量随时间变化指示的台风最强时刻不是在 17 日,而是在 21

日。我们先以欧洲再分析资料为例,给出 2010 年 10 月 17 日 12 时沿 125.25°E 过台风中心的原始高度-温度和气候高度-温度在垂直-纬度剖面上的分布。其中,未分解的总高度和总温度垂直剖面就是日常业务使用的传统天气图(图 6a),台风上空的位势高度并没有明显指示台风强度的信息,只是台风上空相对有暖脊存在。气候高度和气候温度垂直剖面上(图 6b),它们的分布与总高度和总温度没有太大的差异,只是更光滑些。图 6b 可以称为气候图。总高度和总温度中分别包含了气候高度和气候温度,它们与气候的偏差需要另外的表示。

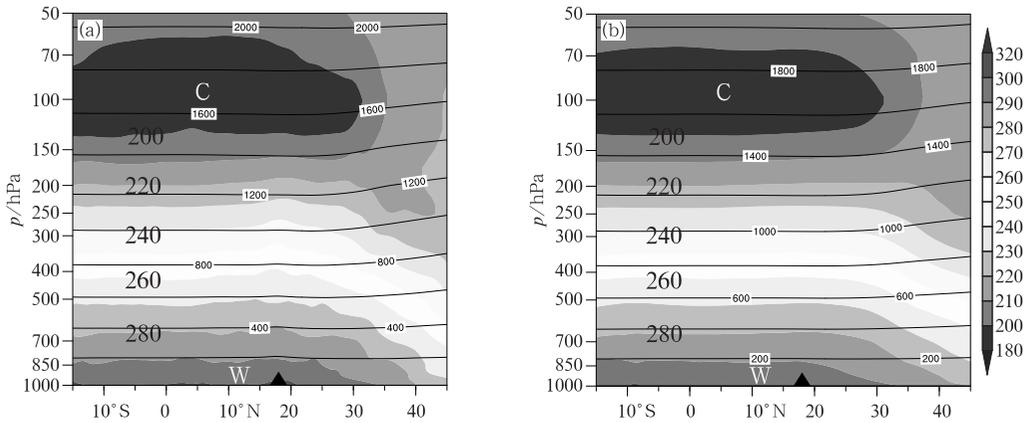


图 6 欧洲再分析资料绘制的 2010 年 10 月 17 日 12 UTC 过台风鲑鱼中心沿 125.25°E 的垂直-纬度剖面

- (a) 总的高度(等值线,单位: 10 gpm)和总温度(阴影,单位: K),
  - (b) 气候高度(等值线,单位: 10 gpm)和气候温度(阴影,单位: K)
- (三角为台风中心位置,W、C 分别对应湿度高、低值中心,下同)

Fig. 6 The vertical-latitude section crossing the Megi center of (a) total and (b) climatic heights (contour, unit: 10 gpm) and temperatures (shadow, unit: K) using the ERA-Interim reanalysis data along the longitude 125.25°E at 12:00 UTC 17 October 2010 (Triangle indicates the location of Megi center, W and C denote positive and negative centers of temperature respectively)

从总高度和总温度中去掉气候分量,图 7a 和 7b 分别给出的是高度扰动和温度扰动以及由高度扰动根据静力平衡关系计算的温度扰动。根据总变量的静力平衡关系,也可以推导出扰动量的静力平衡关系。在图 7a 的台风中心上方取 A(500 hPa)和 B(250 hPa)两点,由 A 和 B 两个点的高度扰动可计算出 E 点的温度扰动

$$T' = -\frac{g}{R} \frac{\partial H'}{\partial \ln p} \approx -\frac{g}{R} \frac{(H'_{p=500} - H'_{p=250})}{(\ln 500 - \ln 250)} > 0 \tag{3}$$

即 E 点的温度扰动为正。于是,两个变量的扰动分

布很好地反映了台风的扰动结构,包括对流层中下部的高度扰动低(负)值中心反映的台风扰动深度,以及对流层中上部的台风扰动暖心结构。这种满足静力平衡关系的图 7 也可称为扰动天气图。

进一步考察 2010 年 10 月 21 日 06 时欧洲再分析资料沿 117.75°E 的垂直剖面上的传统天气图、气候图和扰动天气图(图 8)。传统天气图上(图 8a),台风位置上空仍然无明显的高度异常信息,只是温度场有一暖脊。气候图(图 8b)中仍然是光滑的高度和温度分布。扰动天气图(图 8c)中,负的扰动高度从地面层伸展到了对流层上部,其扰动强度超过

了 17 日 12 时的分布。21 日 06 时, 台风上空的正温度扰动中心位于 250 hPa, 强度也比 17 日 12 时的强, 并且异常的暖中心贯穿整个对流层。由高度扰

动用静力平衡关系计算的温度扰动(图 8d)与直接分解的温度扰动分布基本一致。

由于美国 FNL 资料不足 30 年, 我们用欧洲再

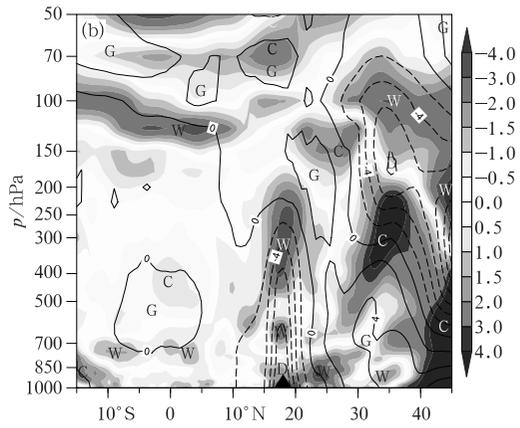
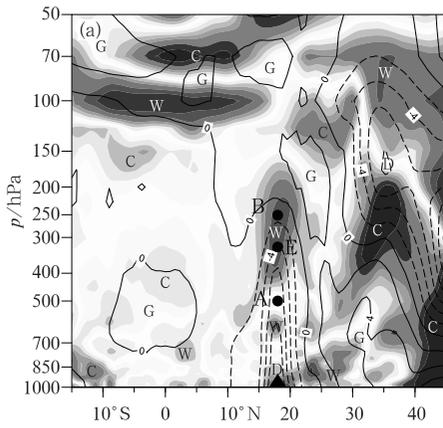


图 7 与图 6 相同, 但为(a)高度扰动(等值线, 单位: 10 gpm)和温度扰动(阴影, 单位: K), (b)高度扰动(等值线, 单位: 10 gpm)和由高度扰动用静力平衡关系式计算的温度扰动(阴影, 单位: K) (G、D 分别对应高度高、低值中心)

Fig. 7 Same as Fig. 6 except for (a) height anomalies (contour, unit: 10 gpm) and temperature anomalies (shadow, unit: K), and (b) height anomalies (contour, unit: 10 gpm) and calculated temperature anomalies (shadow, unit: K) by the relationship of hydrostatic balance at 12:00 UTC 17 October 2010 (G and D denote positive and negative centers of height respectively)

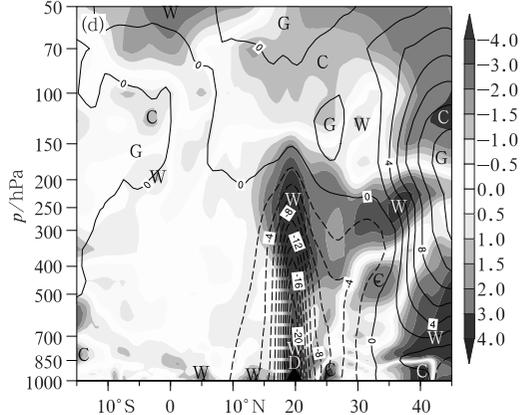
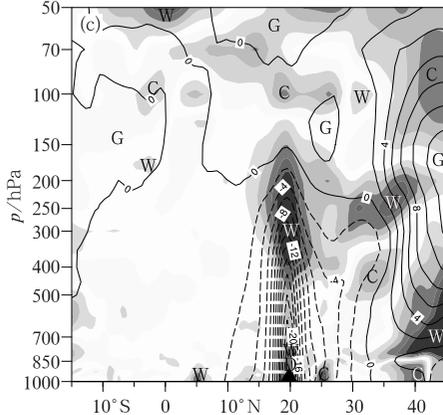
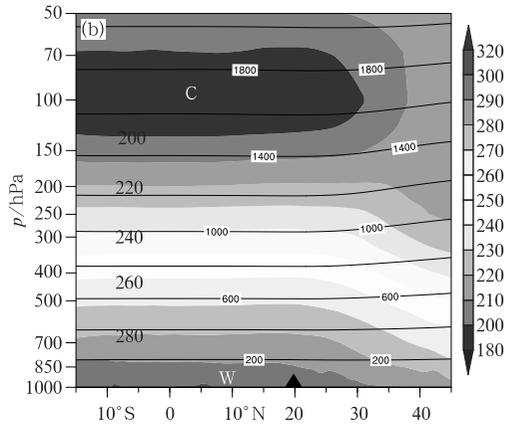
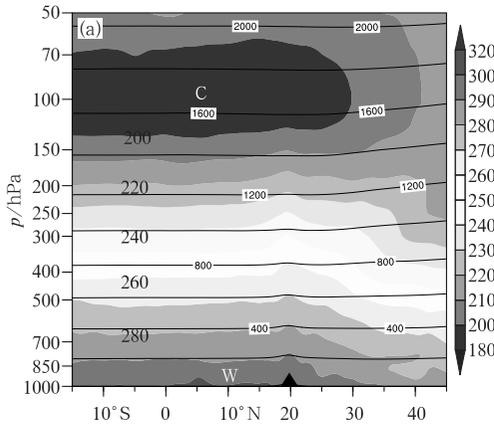


图 8 (a, b)同图 6, (c, d)同图 7, 但为 2010 年 10 月 21 日 06 时沿 117.75°E 的垂直剖面  
Fig. 8 (a, b) same as Fig. 6, (c, d) same as Fig. 7, except for the crossing section along 117.75°E at 06:00 UTC 21 October 2010

分析资料的气候场内插出美国 FNL 资料的气候场。这样,也可以得到 FNL 分析资料分解的扰动变量。美国再分析资料是可以利用式(2)直接计算出它的逐时气候场的。对美国的 FNL 分析资料和 NCEP 再分析资料,这里只给出它们在两个时刻的空间分布。图 9 中分别给出了 FNL 分析资料和 NCEP 再分析资料分解的扰动变量在 2010 年 10 月 17 日 12 时过台风鲇鱼中心沿 125.25°E 的垂直-纬度剖面上的高度扰动和温度扰动。美国的两套资料中,高度扰动都能指示台风的中心位置。与图 7a 比较,显然

美国 FNL 分析资料分解的 17 日 12 时高度扰动和温度扰动都比欧洲再分析资料的强很多,但美国再分析资料中的高度扰动和温度扰动又弱很多。三套资料分解在 2010 年 10 月 21 日 06 时过台风鲇鱼中心沿 117.75°E 的垂直-纬度分布中,仍然表现为美国 FNL 分析资料对应台风中心的高度扰动和温度扰动最强(图 10a),而美国再分析资料的扰动最弱(图 10b)。三套资料分解的扰动变量都能够指示台风的中心位置,对应为高度扰动在对流层低层,而温度扰动在对流层的上部。

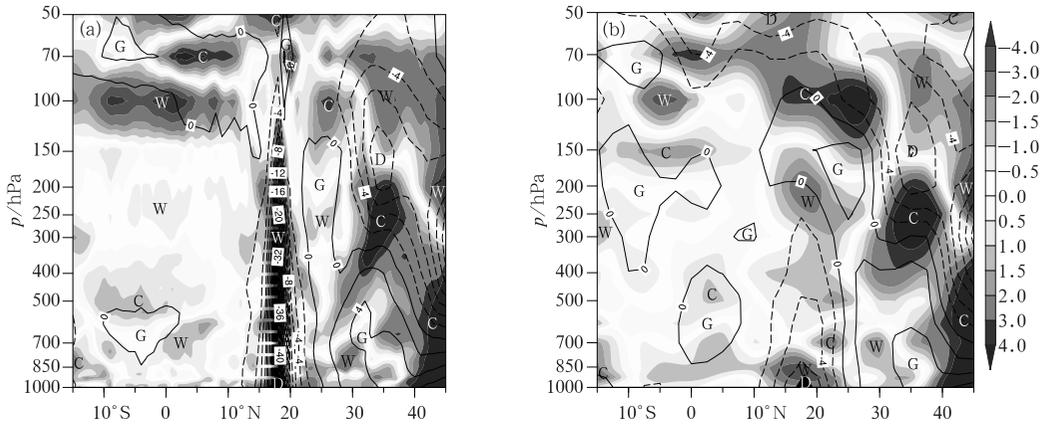


图 9 2010 年 10 月 17 日 12 UTC 过台风鲇鱼中心沿 125.25°E 的垂直-纬度剖面上的高度扰动(等值线,单位: 10gpm)和温度扰动(阴影,单位: K)(符号说明同图 7)  
 (a) 美国 FNL 分析资料分解的扰动变量,(b) 美国 NCEP 再分析资料分解的扰动变量  
 Fig. 9 The vertical-latitude sections crossing the Megi center of height anomalies (contour, unit: 10 gpm) and temperature anomalies (shadow, unit: K) along the longitude 125.25°E at 12:00 UTC 17 October 2010 based on two datasets  
 of (a) FNL Analysis and (b) NCEP Reanalysis 1  
 (Marks are the same as Fig. 7)

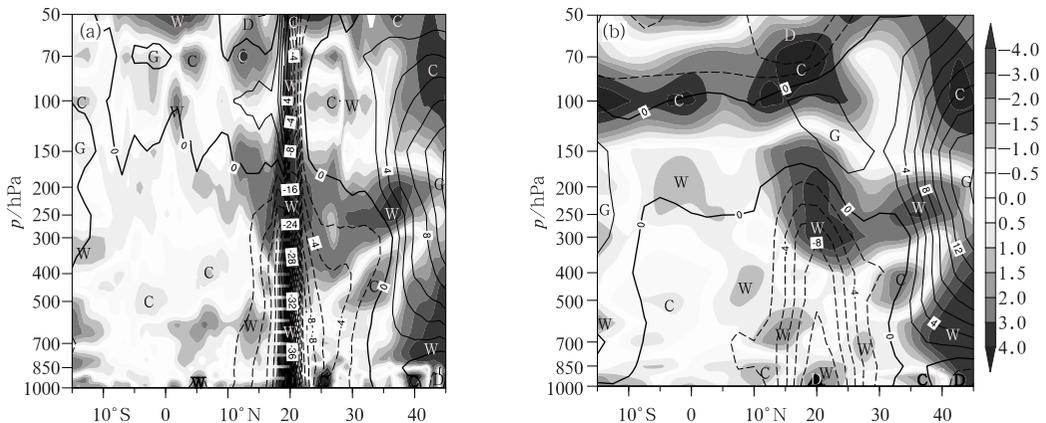


图 10 同图 9,但为 2010 年 10 月 21 日 06 UTC 过台风鲇鱼中心沿 117.75°E 的垂直-纬度剖面上的高度扰动和温度扰动

Fig. 10 Same as Fig. 9, except for the crossing section along 117.75°E at 06:00 UTC 21 October 2010

通过上述的分解分析可以看出,台风中心强度随时间的变化可以用高度扰动和温度扰动得到反映。于是,可以用欧洲再分析资料追踪台风中心上空的扰动分量随时间的演变。2010年10月11日,鲑鱼作为一个热带扰动系统可能在低层风场辐合和卫星云图上有云的反映,但在对流层低层的高度扰动和温度扰动上并没有反映(图11)。只是到了12日,高度扰动在600 hPa才有了反映。13日12时,高度扰动负值下伸到1000 hPa。但在热带扰动的一开始,300~400 hPa之间的温度扰动就为正值了。随着台风的增强,这个暖中心持续发展并向上扩展。17日12时,对流层低层和1000 hPa上高度扰动达到-104.8 gpm。当台风过菲律宾岛的时候,对流层高度扰动减弱。21日06时,1000 hPa的高度扰动中心值达-277.3 gpm。与这个最大的高度扰动对应,温度扰动正值中心也在21日06时达到最大。最大的温度扰动中心有两个层次:在对流层的上部(300 hPa)的扰动中心值为7 K,在对流层下部850 hPa上的扰动中心值为4 K。16日12时开

始,台风中心上方100 hPa以下开始出现稳定的两个温度扰动正值中心。

## 4 结论与讨论

描述台风强度尚难以确定一个绝对好的指标,但可建议用多个指标,或建立综合的多变量指标。跟随台风的这些指标随时间的相对变化可以描述台风强度的演变。在这些指标中,各家估计的台风中心海平面气压只是描述其强度变化的指标之一。美国全球分析FNL实时资料和欧洲模式产品充分同化了来自多源的观测,应该具有描述台风强度变化的多层次和多变量有用信息。利用模式分析和预报产品做分解,台风涡旋低层的高度扰动、上层的温度扰动和中层的风扰动都可以指示台风强度随时间的演变。这三个扰动量之间也是满足地转平衡、静力平衡和热成风关系的(钱维宏等,2012)。本文中的欧美分析和再分析资料的上述变量和扰动分量都反映出台风鲑鱼的最强时间在21日。分解的扰动量应该成为描述台风强度变化的有用指标,因为它与灾害的严重程度有关。

像本文的工作一样,欧美的再分析资料可以应用于事后的研究,以寻找确定台风强度的有效方法。虽然美国的全球分析FNL资料在6小时后才能得到,对它的分解和连续跟踪也能比较好地判断当前台风相对之前时刻的强度变化。我国地市级气象台可以实时地获得未来10天内的欧洲中期模式0.25和0.75经纬度空间分辨率的预报产品了。这个模式提前一周对2012年登陆美国的Sandy飓风路径做出了准确的预报(Bassill 2014; Magnusson et al, 2014)。2010年春夏,我国东部地区发生了几十场的区域性暴雨,欧洲模式能够平均提前6.7天预报出影响这些区域暴雨的扰动环流系统(钱维宏等,2013b)。因此,利用欧洲中期模式预报的低层高度扰动量、上层温度扰动量和中层风扰动量就可以建立未来几天内台风强度的预报指标。

## 参考文献

- 曹晓岗,王慧,漆梁波. 2012. 台风珍珠和鲑鱼北折路径对比分析. 气象, 38(7):841-847.
- 丁婷,钱维宏. 2012. 中国热浪前期信号及其模式预报. 地球物理学报, 55(5):1472-1486.
- 黄丽娜,高建芸,孙健,等. 2013. 西北太平洋台风累积动能气候异常特征分析. 气象, 39(8):995-1003.

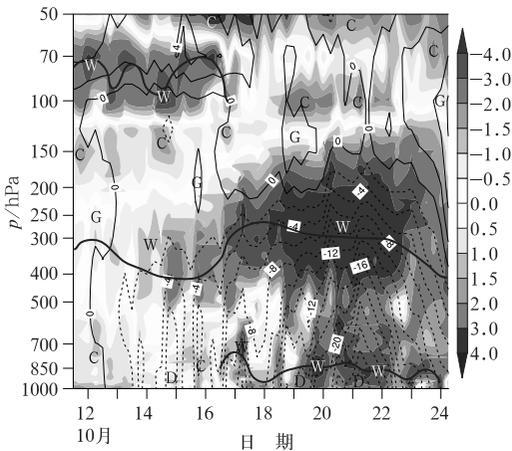


图 11 2010年10月11日12时至24日06时,由欧洲再分析资料分解的台风鲑鱼中心上空每6小时间隔的位势高度扰动(等值线,单位:10 gpm)和温度扰动(阴影,单位:K)随时间的变化(粗实线指示正温度扰动轴线)

Fig. 11 Time (6 h interval) and vertical (unit: hPa) cross section of height anomalies (contour, unit: 10 gpm) and temperature anomalies (shadow, unit: K) over the center of Megi through its lifetime using the ERA-Interim reanalysis data from 12:00 UTC 11 to 06:00 UTC 24 October 2010 (Thick solid line indicates the axis of positive temperature anomalies)

- 江漫,于甜甜,钱维宏. 2014. 我国南方冬季低温雨雪冰冻事件的大气扰动信号分析. *大气科学*, 38(4): 813-824.
- 刘喆,朱元竞,李万彪,等. 2008. 气象卫星资料在估测热带气旋强度方向的应用进展. *热带气象学报*, 24(5): 550-556.
- 鲁小琴,余晖,赵兵科. 2013. 热带气旋环境场相似检索方法的对比分析. *气象*, 39(12): 1609-1615.
- 倪朝萍,吴立广,张玲. 2013. 2005—2010年台风突变路径的预报误差及环流背景. *气象*, 39(6): 719-727.
- 钱传海,端义宏,麻素红,等. 2012. 我国台风业务现状及其关键技术. *气象科技进展*, 2(5): 36-43.
- 钱维宏. 2012a. 中期-延伸期天气预报原理. 北京: 科学出版社, 410.
- 钱维宏. 2012b. 天气尺度瞬变扰动的物理分解原理. *地球物理学报*, 55(5): 1439-1448.
- 钱维宏,丁婷. 2012. 中国热浪事件的大气扰动结构及其稳定性分析. *地球物理学报*, 55(5): 1487-1500.
- 钱维宏,江漫,单晓龙. 2013a. 大气变量物理分解原理及其在区域暴雨分析中的应用. *气象*, 39(5): 537-542.
- 钱维宏,李进,单晓龙. 2013b. 中期模式扰动风在2010年区域暴雨预报中的天气学释用. *中国科学*, 43(5): 862-873.
- 钱维宏,于甜甜. 2013c. 大气变量物理分解法在极端温度事件前期信号提取中的应用. *气象*, 39(6): 665-674.
- 钱维宏,单晓龙,朱亚芬. 2012. 天气尺度扰动流场对区域暴雨的指示能力. *地球物理学报*, 55(5): 1513-1522.
- 许映龙. 2011. 超强台风鲑鱼路径北翘预报分析. *气象*, 37(7): 821-826.
- 余晖,胡春梅,蒋乐贻. 2006. 热带气旋强度资料的差异性分析. *气象学报*, 64(3): 357-363.
- 余锦华,盛思伟. 2010. 西北太平洋热带气旋强度资料的对比. *气象科学*, 30(6): 778-784.
- 杨何群,杨引明. 2012. 热带气旋卫星遥感客观定位方法研究进展. *热带海洋学报*, 31(2): 15-27.
- 张宗婕,钱维宏. 2012. 中国冬半年区域持续性低温事件的前期信号. *大气科学*, 36(6): 1269-1279.
- 邹燕,赵平. 2009. 几种台风资料的对比及台风年鉴数据的订正. *热带气象学报*, 25(3): 295-299.
- Bassill N P. 2014. Accuracy of early GFS and ECMWF Sandy (2012) track forecasts: Evidence for a dependence on cumulus parameterization. *Geophys Res Lett*, 41: 3274-3281.
- Chu J H, Sampson C R, Levin A S, et al. 2002. The Joint Typhoon Warning Center tropical cyclone best tracks 1945—2000. Pearl Harbor: Joint Typhoon Warning Cent.
- Dee D P, and Coauthors. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quart J Roy Meteor Soc*, 137: 553-597.
- Dvorak V. 1975. Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. *Mon Wea Rev*, 103(5): 420-430.
- Kishimoto K. 2008. Revision of JMA's early stage Dvorak analysis and its use to analyze tropical cyclones in the early developing stage. *RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review*, 10: 1-12.
- Kishimoto K, Sasaki M, Kunitsugu M. 2013. Cloud grid information objective Dvorak Analysis (CLOUD) at the RSMC Tokyo-Typhoon Center. *RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review*, 15: 1-15.
- Magnusson L, Bidlot J R, Lang STK, et al. 2014. Evolution of medium-range forecasts for Hurricane Sandy. *Mon Wea Rev*, 142: 1962-1980.
- Peixoto J P, Oort A H. 1992. *Physics of Climate*. New York: American Institute of Physics Press, 520.
- Qian C H, Zhang F Q, Green B W, et al. 2013. Probabilistic evaluation of the dynamics and prediction of super typhoon Megi (2010). *Wea Forecasting*, 28(6): 1562-1577.
- Qian W H, Jiang M. 2014a. Early signals of synoptic-scale atmospheric anomalies associated with the summer low temperature events in northeast China. *Meteorol Atmos Phys*, 124: 33-46.
- Qian W H, Shan X L, Liang H Y. 2014b. *Typhoon Turning Atlas*. World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 458.
- Qian W H, Shan X L, Liang H Y, et al. 2014c. A generalized beta advection model to improve unusual typhoon track prediction by decomposing total flow into climatic and anomalous flows. *J Geophys Res Atmos*, 119(3): 1097-1117.
- van den Dool H. 2007. *Empirical methods in short-term climate prediction*. Oxford: Oxford University Press, 215.
- Wang H, Wang Y. 2014. A numerical study of Typhoon Megi (2010): Part I: Rapid intensification. *Mon Wea Rev*, 142(1): 29-48.
- Wang Y, Wang H. 2013. The inner-core size increase of Typhoon Megi (2010) during its rapid intensification phase. *Tropical Cyclone Res Rev*, 2(2): 65-80.
- Ying M, Zhang W, Yu H, et al. 2014. An overview of the China meteorological administration tropical cyclone database. *J Atmos Oceanic Tech*, 31(2): 287-301.
- Zebiak S E, Cane M A. 1987. A Model El Niño-Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 115(10): 2262-2278.