

周雪松,孙兴池.台风“达维”(1210)非对称性结构及其对风雨分布的影响分析[J].海洋气象学报,2017,37(4):58-64.
Zhou Xuesong, Sun Xingchi. A study on asymmetrical structure of typhoon Damrey (No.1210) and its impacts on wind field and precipitation distributions [J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(4): 58-64. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.04.007. (in Chinese)

台风“达维”(1210)非对称性结构及其对风雨分布的影响分析

周雪松¹,孙兴池²

(1. 山东省气象服务中心,山东 济南 250031; 2. 山东省气象台,山东 济南 250031)

摘要: 针对台风登陆后常有的显著非对称性特征,以2012年10号台风“达维”为例,利用常规观测站、区域自动气象站、卫星云图和NCEP再分析资料等,采用天气学、统计学方法,定量地分析了非对称性台风在登陆后结构的变化及其对风雨的影响机制。研究表明:台风非对称结构对风雨的影响不仅表现在相对于台风中心不同象限量值上的差异,同时也表现在其量值分布形态的差异上;台风“达维”非对称降水差异的主要原因是位于东部象限的强上升区和西北象限的下沉稳定区;右前侧低空暖湿输送带和对流不稳定层结是产生强降水的主要原因。

关键词: 台风;非对称结构;风雨分布;动力机制

中图分类号: P457.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)04-0058-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.04.007

A study on asymmetrical structure of typhoon Damrey (No.1210) and its impacts on wind field and precipitation distributions

ZHOU Xuesong¹, SUN Xingchi²

(1. Shandong Provincial Meteorological Service Center, Jinan 250031; 2. Shandong Provincial Meteorological Observatory, Jinan 250031, China)

Abstract In order to give more details about the asymmetric structure of typhoon after landing, a case study of typhoon Damrey was carried out by using the synoptic and statistical methods. The observation data from conventional and regional automatic weather stations, satellite imageries and NCEP reanalysis data sets were used to study the possible dynamic mechanism and impacts of asymmetric structure on wind field and precipitation. Results show that the asymmetric structure of typhoon Damrey leads to not only different distributions but also different patterns of wind field and precipitation in different quadrants. The upward movement in the east quadrant and the stable sinking in the northwest quadrant contribute to the asymmetric precipitation distribution. At the same time, the low level warm moist conveyor belt and convective instability are the main mechanism of heavy precipitation.

Key words typhoon; asymmetric structure; distribution of wind and precipitation; dynamic mechanism

引言

关于台风登陆后移动速度及台风结构对风雨影响的问题,我国很早就有相关研究。张捷迂

等^[1]、陈联寿和丁一汇^[2]均指出,登陆我国东南沿海的台风在登陆时有移速加快的现象;贺海晏和杨平章^[3]、贺海晏^[4]根据支配台风运动的基本方程,分别定性分析了地形和非绝热加热(尤其是降水

收稿日期:2017-10-13; 修订日期:2017-11-01

基金项目:山东省气象局科研项目(2008sdqxz02);华东区域气象科技协同创新基金合作项目(QYHZ201610)

作者简介:周雪松(1977—),男,硕士,高级工程师,主要从事天气预报服务相关技术研究,cedarzhou2005@163.com。

凝结加热)分布对台风移动的影响。而魏清等^[5]则总结当主要降水区位于台风前进方向右(左)侧时,有利于台风移速加大(减小),也更容易造成强降水天气。施春红等^[6]和李媛等^[7]分析了台风相似路径和远距离台风对降雨的影响。钱燕珍等^[8]采用相对于台风中心的移动坐标合成分析和诊断分析方法,对台风降水量分布特征进行分析,讨论与特大暴雨有关的台风结构变异。

2012年第10号台风“达维”在江苏北部沿海登陆后,移动速度明显减慢,特别是在山东境内有一段时间几乎处于停滞状态,台风缓慢的移速和非对称结构给山东造成了巨大的影响。“达维”带来的强风、暴雨使得山东农业、林业、渔业生产损失严重,全省受灾人口600万人以上。

本文主要从观测事实出发,揭示了台风在山东的风雨分布特征,同时从环流背景和中尺度结构等方面对台风“达维”移速和非对称结构进行分析,以期为中高纬度台风移动和风雨预报提供一些有益的帮助。

1 资料与算法

本文研究使用了我国常规观测站资料、区域自动气象站资料、卫星云图和NCEP再分析资料等。

为了更好分析台风造成的暴雨和大风的分布,使用了跟随台风移动的台风坐标系进行研究,即假设观察者在移动的台风坐标系原点处,查看相对于台风中心不同方位上的风雨分布。Hughes^[9]和Jordan^[10]研究了相对于台风(热带风暴)坐标的风雨分布,给出计算台风不同象限的总降水量分布的方法。本文使用相似的台风坐标系研究风雨的分布,以便更好地把握台风风雨落区,提供分布模型上的参考。

移动坐标系采用地球局地正交坐标系,坐标系的原点为台风逐小时移动路径的原点,坐标系的X轴为正东方向。在进行经纬度坐标转换时使用的球面距离公式如下:

$$d = R \times \cos^{-1}(\sin\alpha \times \sin\beta + \cos\beta \times \cos\alpha \times \cos\theta) \quad (1)$$

式中: R 为球面半径; α 为第一点纬度; β 为第二点纬度; θ 为两点间经度差,单位为rad。

降水和风速研究使用的资料为全国逐小时区域气象自动站资料,资料统计时间段为台风在江苏沿海登陆至台风从山东北部出海时间,即2012年8月2日21时(北京时,下同)至4日02时。统计范

围为台风移动路径200 km以内有效降水和2 min最大风速数据。

2 风雨分布分析

2.1 台风路径

山东省是中国北方地区受台风影响较高的省份,其中7、8月是台风影响的高发季节。2012年第10号台风“达维”是1949年以来首个以台风强度登陆长江以北的台风,并给山东造成了很大的影响。

台风“达维”于7月28日在西北太平洋上生成,后一直向西北方向移动;7月31日08时加强为热带风暴,8月1日08时加强为台风,2日21:30前后在江苏省响水县陈家港镇沿海登陆,登陆时近中心最大风力12级($35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),中心最低气压为975 hPa;8月3日00时减弱为强热带风暴,8月3日04时进入山东省境内;8月3日09时减弱为热带风暴,4日01:30再次入海,4日08时减弱为热带低压并逐渐消失。

台风“达维”在山东境内维持时间之长历史罕见,突破1950年10号台风在山东境内持续16 h的历史记录。台风“达维”8月3日03:10进入山东省临沂市莒南县境内,先后经过临沂市莒南、日照市莒县、临沂市沂南、沂水、淄博市沂源、博山、淄川、济南市章丘、滨州市邹平、淄博市高青、滨州市滨城、沾化和无棣,于4日01:30进入渤海(图1a),在山东境内移速慢,历时22 h 20 min。

从台风的移动速度看,台风“达维”在海上移动近似直线向东北移动,在江苏北部登陆后,速度明显降低,但是进入山东省后移动速度迅速提高,但是3日下午进入鲁西北后,移动速度显著降低,3日19时和22时,台风甚至停滞不动,直到台风从鲁西北出海后,台风移动速度才再次加速(图1b)。

2.2 降雨分布

本次台风在山东造成的暴雨强度大、区域集中(图2a)。受“达维”台风影响,2日17时—4日08时,山东的青岛、淄博、东营、潍坊、日照、滨州、烟台等地出现暴雨,部分地区大暴雨,局地特大暴雨。山东全省共有1 412个区域站出现降雨,降雨量超过100 mm的有119个,50~100 mm的有279个,25~50 mm的有194个,最大雨量出现在滨州的沙头测站,为288.8 mm;全省平均降雨量为32.8 mm。

通过对降水分布的分析,可以发现,本次台风暴雨主要集中在台风中心移动路径的右侧,且存在几个降水中心,分别在鲁东南和鲁中地区南部、鲁

西北地区。而这些中心的出现与台风移动中两次速度减小时间正好一致。分析可知,台风移速的突

然降低可能是产生局地强降雨中心的重要因素。

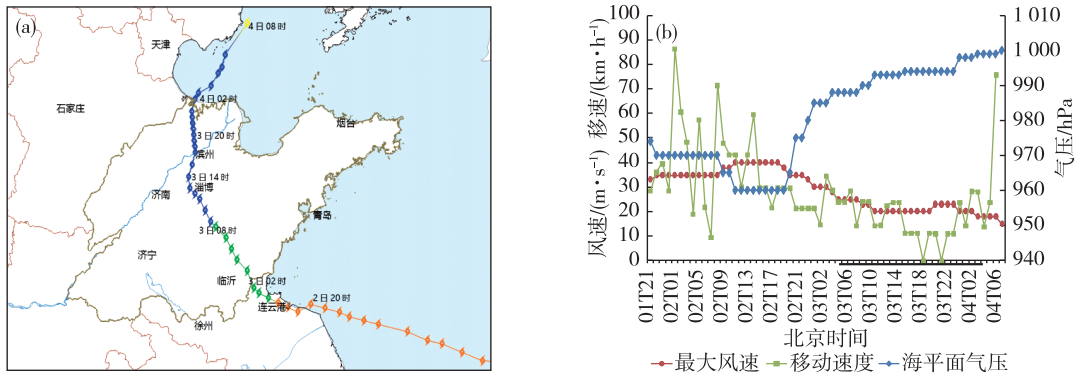


图1 “达维”台风路径(a)、强度及移速图(b;黑色线段为台风在山东时段)

Fig.1 The track (a), sea level pressures and moving speeds (b; black line segment for typhoon in Shandong) of typhoon Damrey

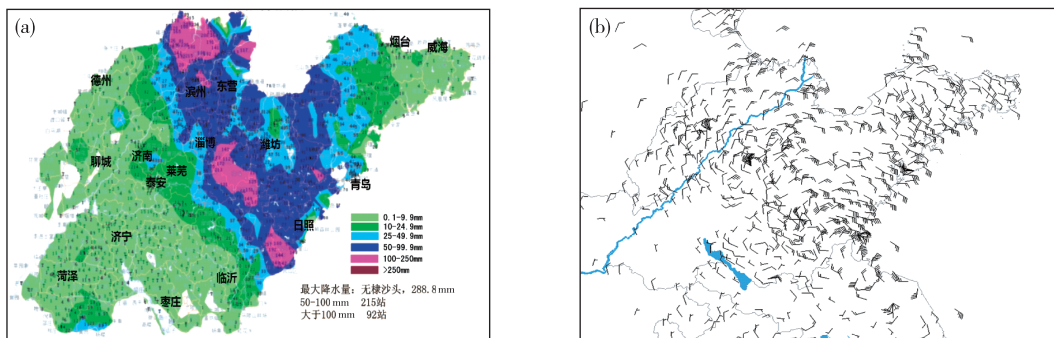


图2 “达维”造成的过程降雨量(a)及最大风速(b)分布(统计时段:2日17:00—4日08:00)

Fig.2 Distributions of precipitation (a) and maximum wind (b) of typhoon Damrey (from 17:00 BST 2 to 08:00 BST 4 Aug.)

在以台风中心的移动坐标系中,将每小时降水数据按照四个象限分别进行统计,并按照与台风的距离使用散点图进行分析,中心相对于台风移动坐标系的距离填绘在一张图上,即给出不同象限每小时台风降水量在台风坐标系统的相对距离分布(图3a-d)。由降水均值分析发现,台风降水量大值主要分布在台风前进方向的东北象限;西北象限和东南象限降水量值次之;而西南象限降水很少。

在东北象限,台风中心附近降水较小;随着离开台风距离的增大,降水强度逐渐增大。强降水区主要分布在离台风中心30~60 km的区域,其中在40 km处强降水最为集中,其平均降水强度达每小时25 mm以上,降水最大强度达到每小时60 mm以上,个别站点达到70 mm。随着离开台风距离的增大,降水强度逐渐减小;在100 km以上,降水强度基本趋于均匀,这些区域以台风外围系统降水为主。降水的分布也与台风经典风速的蓝金模式^[9]分布比较一致。

在台风的西北象限存在与东北象限类似的降水分布,但是降水强度明显较低,仅为东北象限的一半;同时,强降雨区更靠近台风中心,在20~30 km距离处达到最大。在其他两个象限降水强度比较均匀,但个别降水大值点位于50~100 km之间。

2.3 大风分布

受台风“达维”影响,8月2日下午鲁东南沿海地区风力开始增大。日照、青岛沿海出现平均风力8~9级,阵风10~11级的大风;黄海中部风力达10~12级;随着台风“达维”在山东自东南向西北移动,临沂、日照、潍坊、青岛、淄博、济南、滨州、东营等地先后出现平均风力8~9级,阵风10~11级的大风(图2b)。

对小时最大风速(图4a-d)分析发现,在东北、西北、东南象限风速分布较为相似,最大风速分布与陈孔沫^[11]和Jelesnianski^[12]提出的台风风速较为类似。在40~60 km处达到最大,部分站点达到 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,各站点平均值也接近 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而在

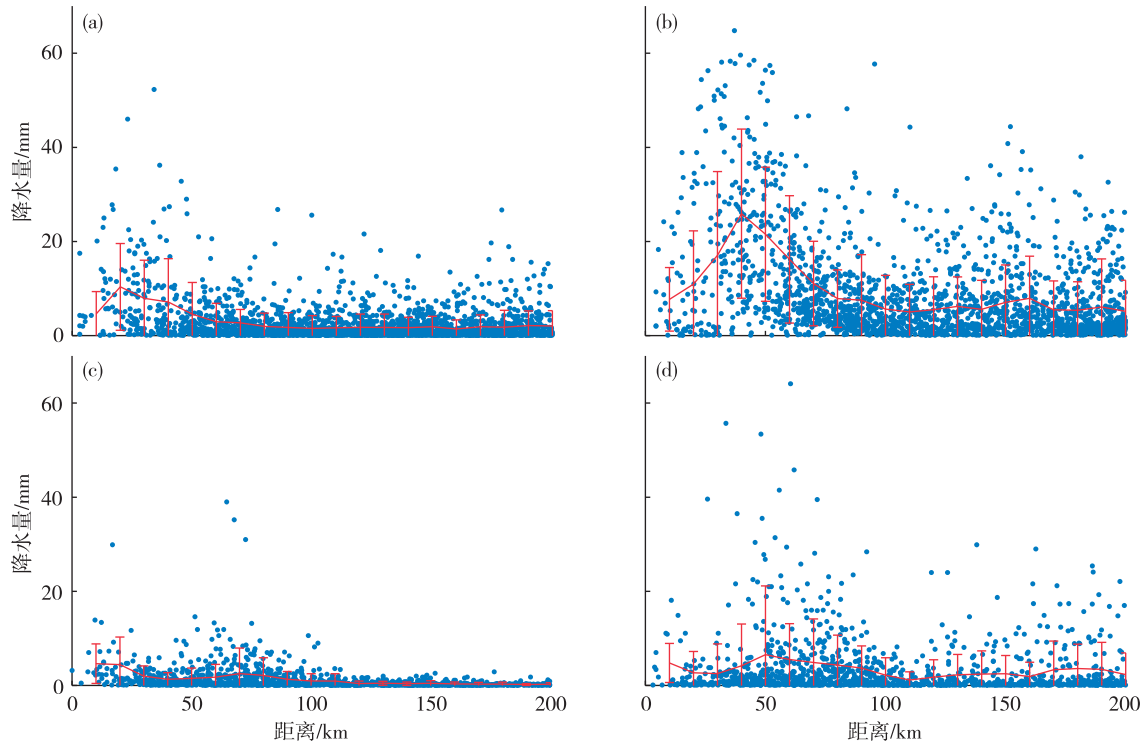


图 3 “达维”1 h 降雨量分布(单位:mm;a.西北象限,b.东北象限,c.西南象限,d.东南象限)
 Fig.3 Hourly precipitation distributions in different quadrants (units: mm; a. northwest, b. northeast, c. southwest, d. southeast)

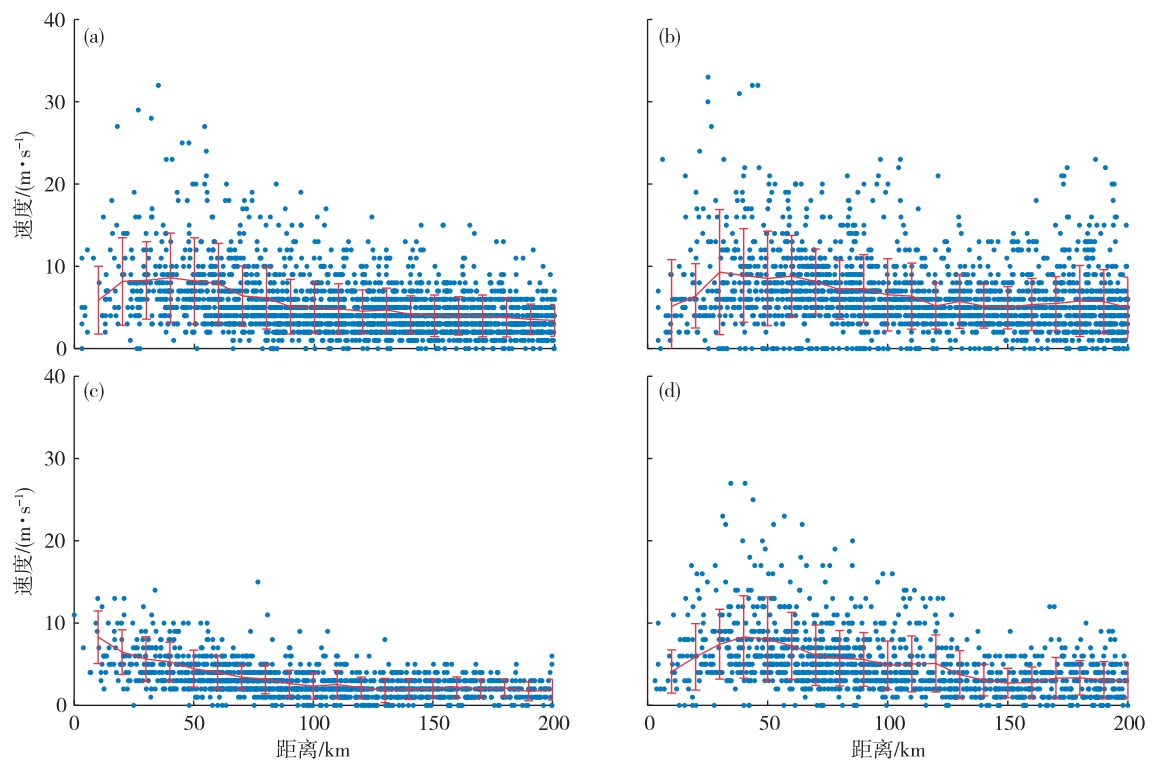


图 4 “达维”最大风速分布(单位: $m \cdot s^{-1}$;a.西北象限,b.东北象限,c.西南象限,d.东南象限)
 Fig.4 Distributions of the maximum wind speed in different quadrants (units: $m \cdot s^{-1}$; a. northwest, b. northeast, c. southwest, d. southeast)

台风中心和远离台风的位置较小,在西南象限却不符合以上规律,风速在近台风中心最大,随着与台风的距离增大而减小。

由以上分析可见,台风“达维”影响山东时造成的风雨分布具有很强的非对称结构,其左后侧降水较少,出现大风也较少;而在右前侧则降水强,风力大,造成了严重的气象灾害。

3 台风的不对称性

3.1 卫星云图特征

由卫星云图看,台风“达维”也具有较明显的左

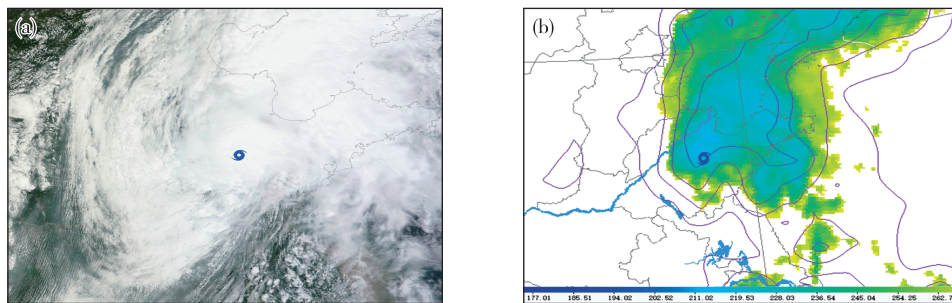


图5 2012年8月3日11:30 Terra 卫星可见光云图(a)和FY-2的云顶亮温(b)
Fig.5 Visible satellite imagery (a) of Terra and TBB (b) of FY-2 at 11:30 BST 3 Aug. 2012

3.2 环流特征

在“达维”向西北方向移动期间,西太平洋副热带高压(以下简称“副高”)一直维持少动,且范围广、强度较大,呈西北—东南块状分布。台风“达维”沿副高西南侧边缘向西北行进。2日夜间台风登陆后,副高有比较明显的东退,同时850 hPa 台风倒槽明显加深。

8月3日08时,台风移到山东境内,588 dagpm 等值线仍位于山东半岛东部(图6a)。而此时500 hPa 的西风带低槽仍位于河套地区,与西风带系统相对应的冷空气还没有影响到台风环流,山东没有

明显温度梯度,表明斜压性不强。而在850 hPa(图6b),台风尽管还处于副高脊线南部,但是已经有较明显的温度梯度,表明低层有弱冷空气侵入,台风未来开始变性。同时,在我国东部沿海地区,可以看到有明显的低空急流存在,从我国东部沿海一直到鲁中地区,风速都在 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,这条急流为山东降水提供了丰富的水汽来源。

8月4日,台风“达维”离开山东并逐渐减弱后,副高又再次明显加强,到4日20时,588 dagpm 等值线已经到山东西部,山东被副高控制。

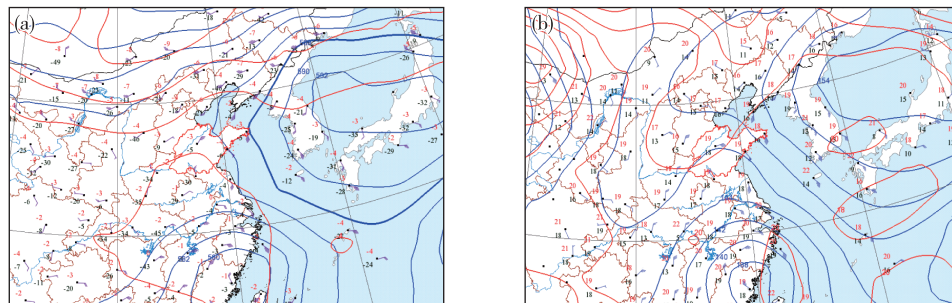


图6 2012年8月3日08时500 hPa(a)和850 hPa(b)天气形势图(蓝实线:等高线,单位:dagpm;红实线:等温线,单位:℃)

Fig.6 The synoptic charts of 500 hPa(a) and 850 hPa(b) at 08:00 BST 3 Aug. 2012 (blue line: geopotential height field, units: dagpm; red line: isotherm, units: °C)

3.3 动力结构

为了研究台风风雨分布的不对称性成因,有必要对台风的非对称性结构进行细致分析。3日08时沿 36°N 的剖面图上,在台风东侧 $119^{\circ}\sim 121^{\circ}\text{E}$ 附近,925 hPa至400 hPa之间存在明显的南风急流区,其中 v 分量最大值为 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,而与之对应的是大于 $-1.5\text{ hPa}\cdot\text{h}^{-1}$ 的垂直上升运动区,表明在该区域存在明显的斜升气流。而在台风的西侧为偏北风为主的弱的下沉气流区,部分区域存在上升气流(图7a)。沿台风中心即 118.2°E 径向剖面也存

在类似的环流结构,其北侧 37°N 附近为强倾斜上升区,其南侧为偏西风的下沉气流为主(图7b)。

沿 119°E 和 37°N 的径向和纬向剖面可以非常直观地发现,在台风中心东北侧的700 hPa至900 hPa之间存在大范围的东风区,该东风在 36°N 附近与偏南风大值区共同形成了东南风上升气流,这一倾斜上升的急流为暴雨的发生提供了很好的水汽和能量供应。且该急流区在空间上逐渐向上伸展到500 hPa以上(图7c、d)。

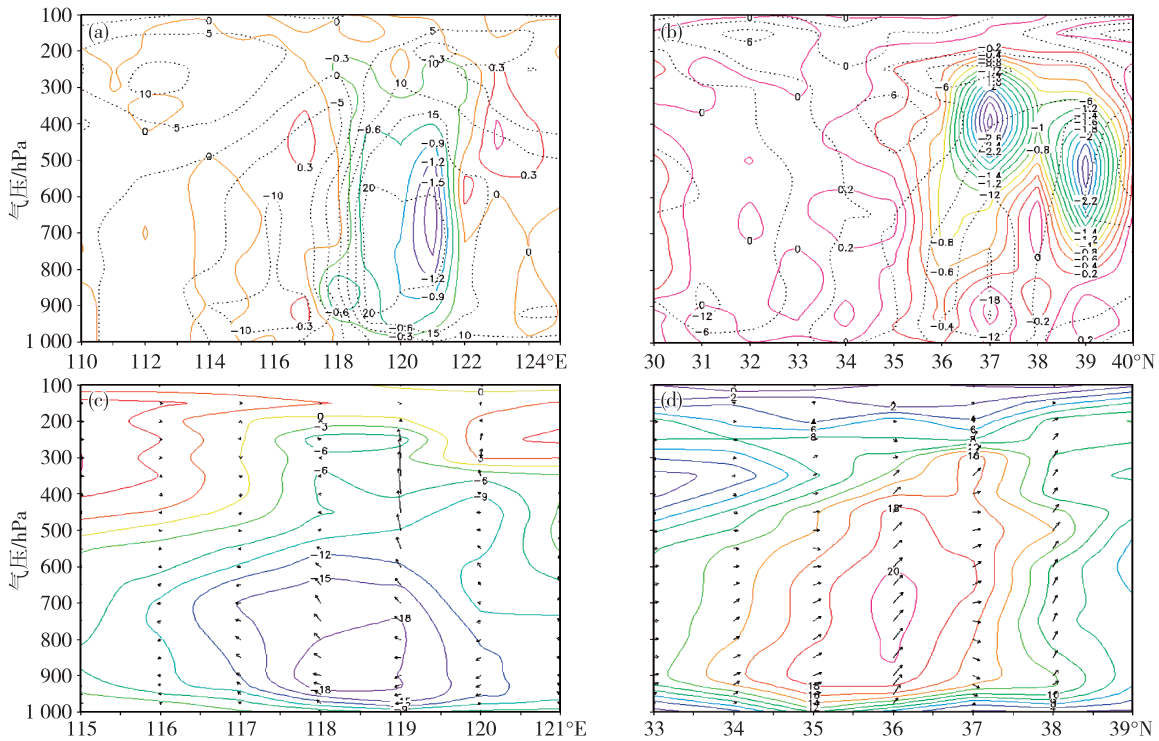


图7 2012年8月3日08时沿 36°N 和 118.2°E 垂直速度和水平风分量(a,b;实线为垂直速度,单位: $\text{hPa}\cdot\text{h}^{-1}$,虚线为水平风分量,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)及沿 37°N 和 119°E 垂直速度和风场(c,d;实线为垂直速度,单位: $\text{hPa}\cdot\text{h}^{-1}$,箭头为风场)

Fig.7 Cross-section profiles of vertical velocity and horizontal wind vector along 36°N (a) and 118.2°E (b), and vertical velocity and wind field along 37°N (c) and 119°E (d) at 08:00 BST 3 Aug. 2012 (solid contours indicate vertical velocity, units: $\text{hPa}\cdot\text{h}^{-1}$; dotted contours indicate horizontal wind speed, units: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

3.4 水汽与能量

台风“达维”影响山东期间,由于长江以南“苏拉”的存在,在我国东部存在很好的水汽输送通道,低空气流表现尤其明显。3日08时山东大部和江苏850 hPa比湿均达到 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,存在高湿的环境条件,因此在强辐合的形势下,台风东侧位置有超过 $-30\times 10^{-6}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽辐合区,而在台风北侧,水汽辐合迅速减小,并出现水汽的辐散中心(图8a)。

假相当位温是表征温度和水汽的综合性物理量,当对流层低层出现高假相当位温区时,可以形

成强的对流不稳定,造成强降水。在台风“达维”影响期间,山东省均处于高温高湿的假相当位温高值区, θ_{se} 在348 K以上(图8b)。通过径向和纬向剖面(图8c、d)可以看到,3日08时,在 119°E 附近,地面和500 hPa高度之间存在明显的 θ_{se} 高值区,且处于对流不稳定状态,极易造成对流性天气。同样,在台风北部也存在类似的高能区。

4 结论

2012年影响山东的台风“达维”属于规模小、强度大,结构相对完整的热带气旋。在影响山东初期

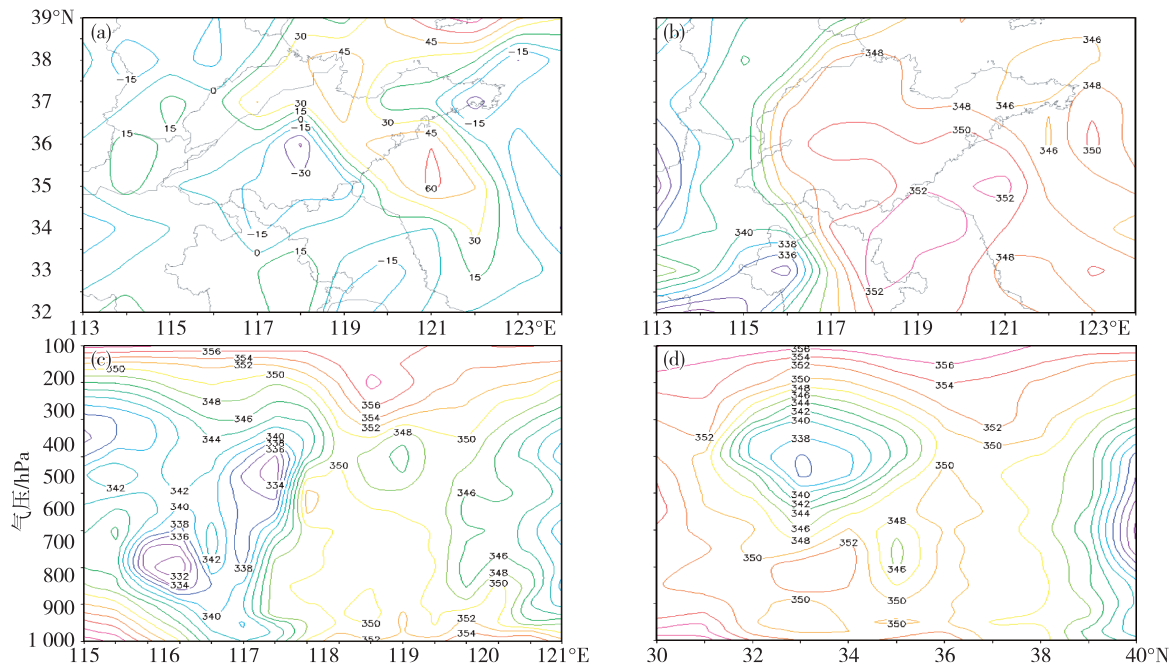


图8 3日08时850 hPa水汽通量散度(a;单位: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和假相当位温(b;单位:K)以及沿36°N(c;单位:K)和119°E(d;单位:K)的垂直剖面

Fig.8 Water vapor flux divergence (a; units: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and pseudo equivalent potential temperature(b; units: K) at 850 hPa and on the vertical cross section along 36°N(c; units:K) and 119°E(d; units:K) at 08:00 BST 3 Aug. 2012

仍维持强热带风暴等级,在影响山东的大部分时间里,台风移动缓慢是造成降水较为集中的原因之一。

1)在台风的东北、西北、东南象限风速分布较为相似,最大风速分布接近于Jelesnianski等提出的台风风速模式,但是西南象限风速分布随着离开台风中心距离的增大而减少。

2)从台风降水的分布来看,在台风的东部和北部象限降水最为明显,且存在与台风风速分布的蓝金模式相类似的分布形态。

3)从台风动力场分析看,在台风的东部和北部存在一个倾斜上升的低空急流,携带大量高温高湿的水汽,是该区域暴雨发生的能量和水汽来源。

4)台风造成非对称降水差异的主要因素是位于东部象限的强上升区和西北象限的下沉稳定区,右前侧低空暖湿输送带和对流不稳定层结是产生强降水的主要原因。

参考文献:

- [1] 张捷迁,魏鼎文,何阜华.台风结构和中国东南沿海地形对台风影响的初步实验研究[J].中国科学,1975(3):302-314.
- [2] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:309-311.
- [3] 贺海晏,杨平章.台风移动规律的研究 II.小地形与边

界层的动力作用[J].热带气象学报,1995,11(2):97-104.

- [4] 贺海晏.台风移动规律的研究 I.非绝热加热与水平温度分布的影响[J].热带气象学报,1995,11(1):1-9.
- [5] 魏清,黄敏辉,黎伟标,等.登陆广东热带气旋的降水分布和移速变化[J].热带气象学报,2003,19(s1):166-172.
- [6] 施春红,吴君婧,漆梁波.两例相似路径台风降水差异的成因及预报分析[J].海洋气象学报,2017,37(3):36-45.
- [7] 李媛,张泽铭,高广强,等.台风环流对远距离暴雨水汽输送影响研究[J].海洋气象学报,2017,37(1):111-117.
- [8] 钱燕珍,王继志,郑铮,等.台风麦莎(Matsa)特大暴雨及其结构特征分析[J].气象科技,2010,38(5):543-549.
- [9] Hughes L A. On the low-level wind structure of tropical storms[J].J Meteor,1952,9(6):422-428.
- [10] Jordan E S. An observational study of the upper wind-circulation around tropical storms[J]. J Meteor, 1952, 9(5):340.
- [11] 陈孔沫.新的台风风场计算办法[J].海洋预报,1992,9(3):60-65.
- [12] Jelesnianski C P. A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf[J]. Mon Wea Rev, 1965, 93(6):343-358.