

# 江苏一次灾害性大风天气过程分析

王易<sup>1</sup> 韩桂荣<sup>1</sup> 曹舒娅<sup>2</sup> 刘安宁<sup>1</sup>

(1 江苏省气象台, 南京 210008; 2 苏州市气象局, 苏州 215000)

**摘要:** 利用江苏省自动站、NCEP再分析资料和连云港多普勒雷达等资料, 对2017年3月1日江苏一次大范围灾害性大风过程进行了分析。结果发现, 此次大风过程是黄河气旋后部冷锋迅速加强南下引起的一次系统性大风过程, 具有明显的温度槽落后于高度槽的斜压结构, 槽后急流和冷平流显著。强三小时正变压引起的变压风是阜宁产生大风的主要原因。此外, 云台山地形造成的冷锋加强也对阜宁大风有一定的加强作用。

**关键词:** 灾害性大风, 黄河气旋, 三小时正变压

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.06.002

## Analysis of a Damaging Wind Event in Jiangsu

Wang Yi<sup>1</sup>, Han Guirong<sup>1</sup>, Cao Shuya<sup>2</sup>, Liu Anning<sup>1</sup>

(1 Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008 2 Suzhou Meteorological Bureau, Suzhou 215000)

**Abstract:** Based on the data from weather stations in Jiangsu Province, NCEP/NCAR reanalysis data, and Doppler radar from Lianyungang, a gale which caused damage in Jiangsu Province on 1 March 2017 was analyzed. The results show that the gale in this case is a systematic gale caused by a cold front behind the Yellow River cyclone. The structure of the cyclone was baroclinic, and the thermal trough fell behind the height trough. The jet and the cold advection behind the height trough was strong. The main reason that the gale occurred in Funing was the allobaric wind which resulted from 3-hours of positive isallobars. In addition, the enhancement of the cold front resulted from the Yuntai Mountain, which also had a role in strengthening the gale.

**Keywords:** damage wind, Yellow River cyclone, 3-hours positive isallobar

### 0 引言

地面大风作为江苏的主要灾害性天气的一种, 造成严重的人员伤亡和财产损失, 因此加强灾害性大风的预报技术研究, 提高预报能力是十分重要的。江苏大风主要出现在3—4月, 多与冷暖空气交汇和天气系统活动频繁有关。

许多学者<sup>[1-9]</sup>对灾害性大风进行了研究, 黄彬等<sup>[1-2]</sup>对两次黄河气旋造成的黄渤海大风及风暴潮过程进行了分析, 指出变压梯度、气压梯度、高空风动量下传和超低空急流的偏差风辐散的共同作用, 形成了黄渤海强风。苗春生等<sup>[3]</sup>将黄河气旋分为了夏季型和春季型, 采用动态合成法对两类气旋的结构和黄渤海海域的热力、动力、水汽等影响因子进行了对比分析。朱

男男等<sup>[4]</sup>通过分析一次黄渤海大风过程, 指出气压梯度和变压梯度是造成地面大风的主要原因。黄彬等<sup>[5]</sup>对一次引发渤海强风暴潮的黄河气旋发展过程进行了天气动力学分析, 揭示了干侵入在爆发性黄河气旋中的特征和作用。查贲等<sup>[6]</sup>通过对一次爆发性气旋引发的大风天气进行诊断分析, 发现低层切变线与地面带状对流有效位能(CAPE)高值区重合区域将会出现大风天气, 具有明显的预报指示意义。这些研究成果对了解和认识灾害性大风提供了重要的参考依据。

2017年3月1日下午, 江苏遭遇了大范围的大风天气, 连云港、盐城、徐州、泰州、南通、南京、镇江、苏州、无锡等市的33个县(市)风力超过8级, 其中阜宁最大风力达10级(26 m/s)。全省因灾死亡3人, 重伤13人, 多处房屋受损, 造成了严重的人员伤亡和财产损失。此次大风过程虽然前期预报已经提及, 但对大风的量级预报偏小, 因此, 有必要对于此次大风过程的成因进行分析, 为今后的预报提供参考。本文利用多普勒雷达资料、自动站观测资料和NCEP再分析资料, 对此次大风过程和形成原因进行分析。

### 1 天气形势和实况

2017年3月1日08时(北京时, 除非特别说明, 下

收稿日期: 2017年5月15日; 修回日期: 2017年9月14日  
 第一作者: 王易(1986—), E-mail: wangyi401@163.com  
 通信作者: 韩桂荣(1963—), E-mail: hgrong@vip.sina.com  
 资助信息: 国家自然科学基金项目(41575036、41475042),  
 江苏省科技厅项目(BE2015731、BE2017776),  
 南京大气联合中心基金项目(NJCAR2016ZD01),  
 江苏省气象局科研重点项目(KZ201704), 北极  
 阁基金项目(BJG201509)

同) 500 hPa上东亚地区为一槽一脊的形势(图1a), 河套以东为比较深厚的华北冷槽, 高空槽后伴有强劲的偏北急流, 最大风速达40 m/s, 受槽后冷空气影响, 射阳站24 h降温5 °C。700 hPa和850 hPa也有槽位于山东和江苏北部, 系统呈后倾结构。700 hPa温度

槽明显落后于高度槽, 有利于高空槽继续加深发展(图1b)。850 hPa上在山东半岛东部有一低涡(图1c), 等温线与等高线交角几近90°, 槽后部偏北风达20 m/s。从高空三层形势看, 此次过程呈现强烈的斜压结构, 且槽后急流和冷平流强。

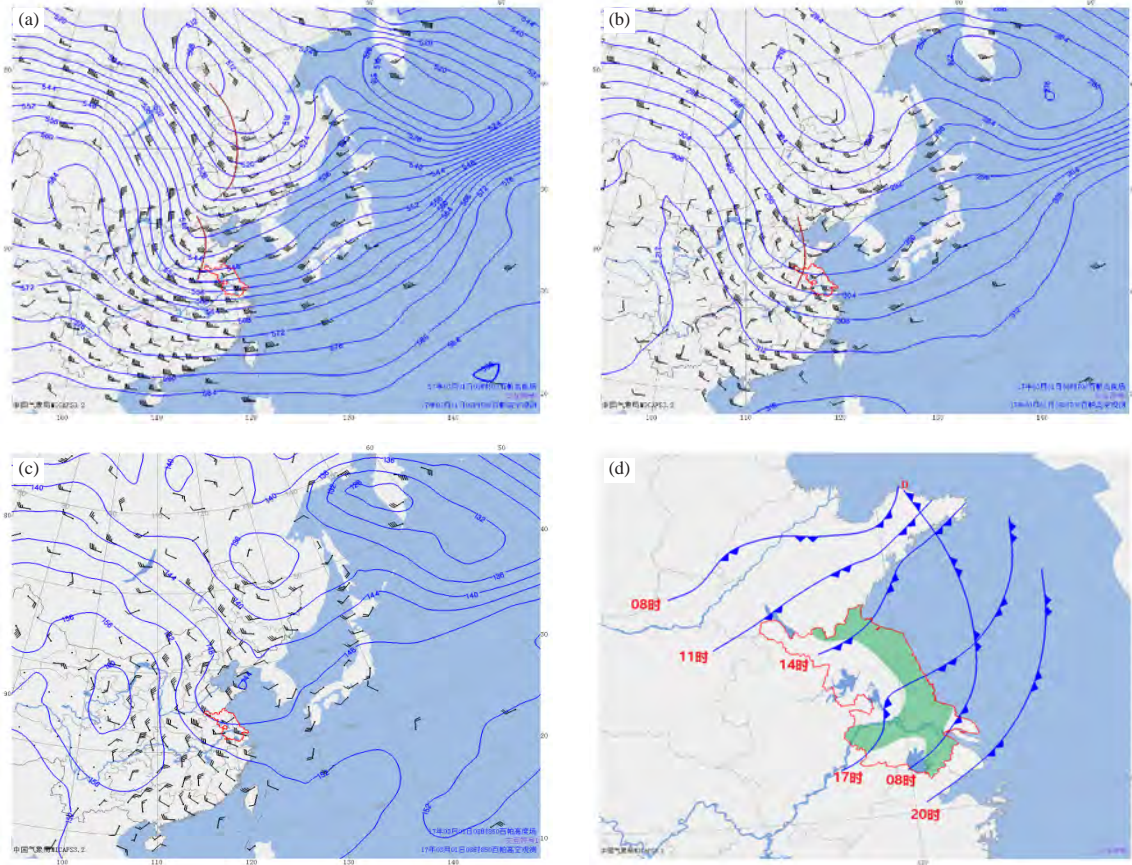


图1 2017年3月1日500 hPa (a)、700 hPa (b)、850 hPa (c) 位势高度场, 08时—20时地面冷锋移动图 (d) (棕线为槽线, 绿色区域为3月1日14时—17时极大风分布区域)

Fig. 1 Geopotential height at 500 hPa (a), 700 hPa (b) and 850 hPa (c), and the movement of the cold front from 08:00 BT to 20:00 BT (d) on March 1, 2017

(The brown line represents the trough, and the green region represents the extreme wind region from 14:00 BT to 17:00 BT)

地面图上, 08时黄河气旋主体位于山东半岛东部(图2a), 其后部有两条冷锋系统(图1d), 其中一条冷锋位于江苏沿江一带, 另一条副冷锋位于山东中部。之后黄河气旋逐渐东移入海, 14时已移入渤海(图2b), 从山东省成山头站可以看到(图2d), 28日20时开始该站气压逐渐降低, 在1日14时达到最低点之后气压迅速回升, 且在14时风向有明显转变, 从西南风转为偏北风, 表明黄河气旋主体14时经过该测站。同时, 位于山东中部的副冷锋14时已经移动到连云港, 赣榆出现7级风。气旋入海后移动迅速, 17时已到达朝鲜半岛(图2c), 其后部冷锋17时也快速移动到江淮之间地区, 此时淮北大部分地区已经出现

8~9级的大风, 16:41在阜宁观测到了26.9 m/s的10级风。随着冷锋继续南下, 江苏大部分站点都出现7级以上大风。

1日08时射阳站的探空资料来看(图3a),  $K$  ( $K$ 指数) = 27 °C,  $SI$  (沙氏指数) > 1 °C,  $CAPE$  = 0 J/kg, 垂直风切变较小, 700 hPa和850 hPa之间假相当位温随高度基本无变化, 在当时不利于对流发展。但由于前期江苏回温较快, 1日14时江淮之间地区地面温度都在15 °C左右。利用14时的地面温度订正探空资料后(图3b),  $CAPE$  > 0 J/kg, 出现层结不稳定状态。实况观测到连云港、盐城等8个市(县)出现雷暴天气, 但降水较弱, 全省降水以小雨为主, 这与春生

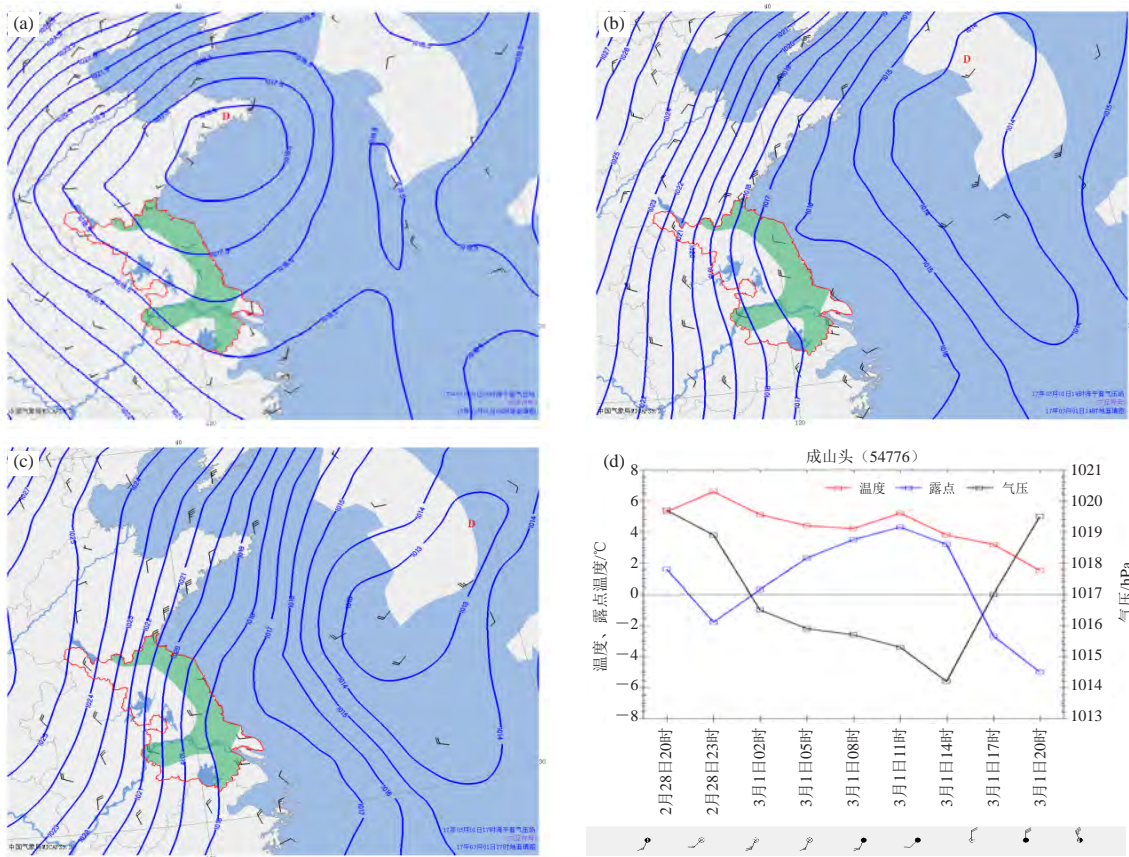


图2 2017年3月1日08时 (a)、14时 (b)、17时 (c) 海平面气压场, 2月28日20时—3月1日20时成山头站温度、露点温度、气压和风向风速时序图 (d) (绿色区域为3月1日14时—17时极大风分布区域)

Fig. 2 The sea level pressure at 08:00 BT (a), 14:00 BT (b) and 17:00 BT (c) on March 1, 2017, and the temperature, dew-point temperature, sea level pressure, wind direction and wind speed from 20:00 BT on February 28 to 20:00 BT on March 1 in Chengtoushan station (d) (The green region represents the extreme wind region from 14:00 to 17:00)

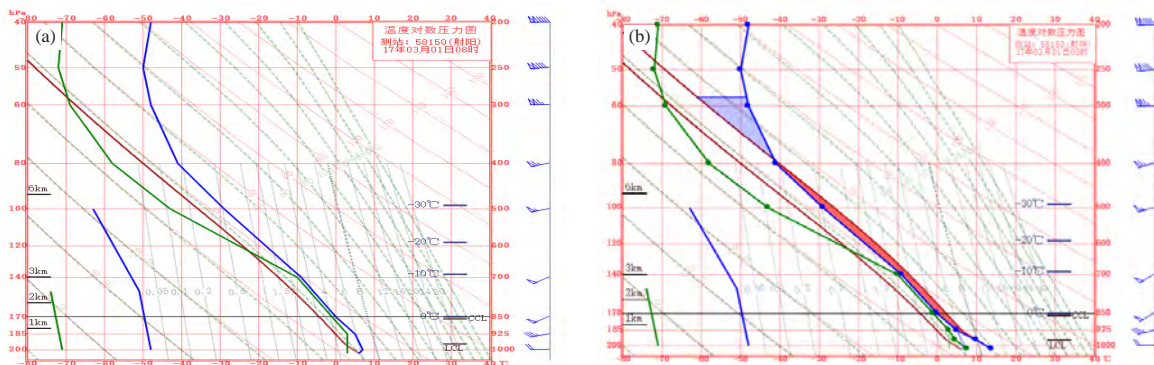


图3 2017年3月1日08时射阳站探空曲线 (a)、14时资料订正后探空曲线 (b) (蓝线为温度层结曲线, 绿线为露点层结曲线, 红线为状态曲线)

Fig. 3 The  $T$ - $\ln p$  diagrams at 08:00 BT (a), 14:00 BT (b) from the Sheyang station on March 1, 2017 (The blue line represents the temperature stratification, the green line represents the dew point stratification, and the red line represents the state)

等<sup>[3]</sup>提到的春季型黄河气旋降水特征相符。

## 2 多普勒雷达回波分析

从连云港雷达0.5°仰角基本反射率可以看到, 1日11时回波主要位于山东沂南一带 (图4a), 回

波较为松散, 向东南方向缓慢移动, 回波强度在20~25 dBZ。之后回波逐渐合并加强, 并在14:30形成一条长约100 km、宽约20 km的回波带, 回波强度较弱, 最大回波强度为35 dBZ左右 (图4b)。从连云

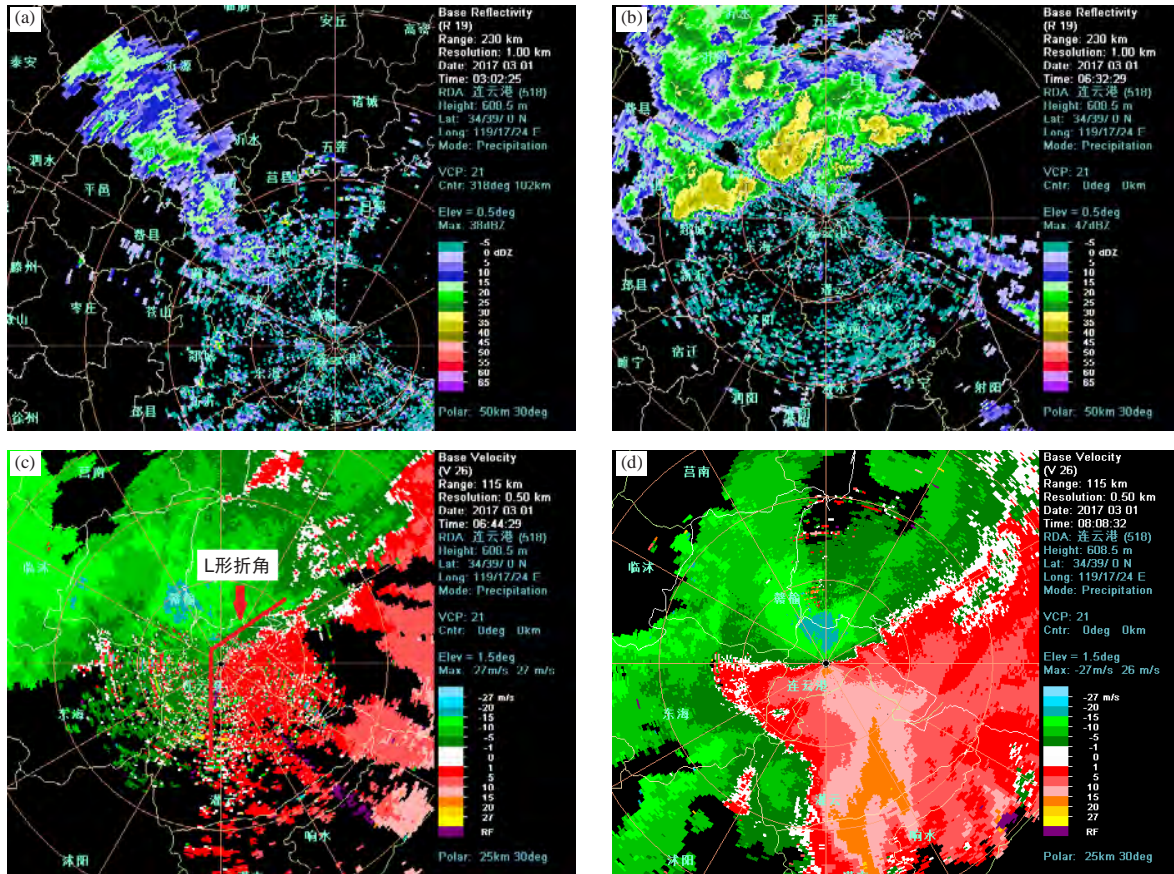


图4 2017年3月1日11:00 (a)、14:30 (b) 连云港雷达0.5° 仰角基本反射率图, 14:44 (c)、16:08 (d) 连云港雷达1.5° 仰角径向速度图

Fig. 4 The 0.5° elevation reflectivity at 11:00 BT (a), 14:30 BT (b), and the 1.5° elevation radial velocity at 14:44 BT (c) and 16:08 BT (d) from the Lianyungang Radar on March 1, 2017

港雷达径向速度图上可以看到(图4c), 14:44在锋线两侧径向速度出现不连续现象, 零速度线呈现L形折角, 表明锋区刚刚移动到连云港雷达站前, 锋后为西北风, 锋前为西南风。随着冷锋的向南移动, 16:08在径向速度图上呈现出更加明显的3条零速度线(图4d), 表明此时冷锋已经移过连云港雷达站。

### 3 大风成因分析

#### 3.1 变压风对大风的影响

实际风 $V$ 的大小与地转偏差 $D$ 和地转风 $V_g$ 有关, 即 $V = V_g + D$ 。虽然地转偏差与地转风相比并不大, 但是对大气运动和天气变化有着重要作用。地转偏差 $D$ 主要由三项组成

$$D = \frac{1}{f} k \times \left( \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial s} + \omega \frac{\partial V}{\partial p} \right), \quad (1)$$

其中,  $s$ 表示沿流线方向,  $p$ 表示沿垂直方向。这里主要讨论与气压的局地变化所造成的风的局地变化相联系的地转偏差 $D_1 = \frac{1}{f} k \times \frac{\partial V}{\partial t}$ , 即变压风的影响。在正

变压中心区, 变压风辐散引起下沉运动, 而在负变压中心区, 变压风辐合引起上升运动。

通过分析地面自动站观测资料可以看到(表1), 在此次大风过程中, 16:25冷空气到达滨海时, 出现了1 h 10.3 °C的降温, 使得滨海、响水一带形成7 °C以下的冷池。同时, 14时—17时滨海、赣榆、东海均出现3 h 5 hPa以上的强正变压中心, 赣榆、东海的3 h变压值达6.4 hPa。强气压梯度造成变压风的加强, 引起地转偏差的加大, 进而使得实际风变强, 造成了阜宁及其周边地区的灾害性大风。

进一步选取2017年5月4日的江苏一次气旋影响过程与这次的过程进行对比。2017年5月4日有一地面气旋从安徽移入江苏南部地区, 给江苏带来一次降水天气。从5月4日05时—08时地面3 h变压(表1)可以看到, 苏南地区大部分站点3 h变压在2 hPa左右, 最大3 h变压位于高淳, 仅为3 hPa, 正变压较弱, 远小于3月1日过程, 从而导致地转偏差较弱, 风力较小。实况显示气旋过境时, 苏南各市风力在4~5级左右, 并

无明显大风天气出现。由此可以看出, 气压梯度造成变压风对大风产生有一定的影响。

表1 2017年3月1日江苏北部部分站点和2017年5月4日江苏南部部分站点3 h变压统计

Table 1 The statistics for three-hour variation of surface atmospheric pressure in Northern Jiangsu on March 1, 2017 and in Southern Jiangsu on May 4, 2017

站点	2017年3月1日 14时—17时/hPa	站点	2017年5月4日 05时—08时/hPa
赣榆	6.4	高淳	3.0
东海	6.4	溧水	2.6
连云港市区	5.8	浦口	2.4
西连岛	5.6	扬州市区	2.3
滨海	5.4	仪征	2.3
灌云	5.1	镇江市区	2
响水	4.9	溧阳	2
阜宁	4.1	江宁	1.9

### 3.2 地形对大风的影响

地形对锋面有一定的影响, 当锋面越过山脉时会有加强或减弱的过程。锋面的加强或减弱通常由锋生和锋消来解释。由锋生函数可知

$$F = -\nabla\theta \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial p} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{d\theta}{dt} \right), \quad (2)$$

其中, 右边3项分别表示空气水平运动、垂直运动以及非绝热加热对锋生的作用, 当 $F > 0$ 时表示锋生, 当 $F < 0$ 是表示锋消。其中地形作用主要与第二项垂直运动 $-\frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial \theta}{\partial p}$ 相关。

利用NCEP再分析资料对此次过程中锋生函数垂直运动项进行分析。通过地形图可以看到, 连云港附

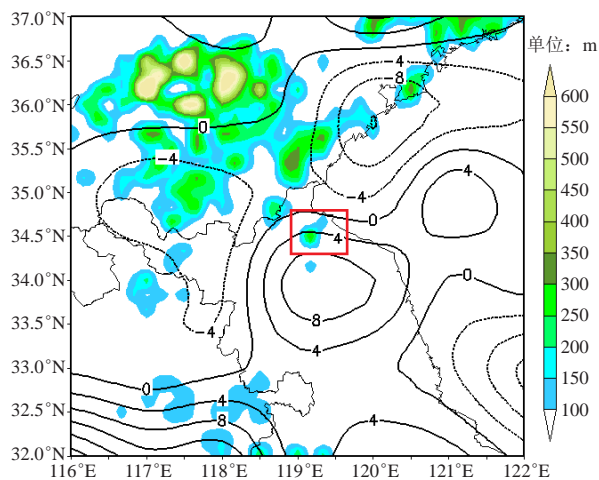


图5 2017年3月1日14时锋生函数975 hPa垂直运动项(线条)与地形(色斑)叠加图(红框位置为云台山)

Fig. 5 The vertical motion of the front genetical function in 975 hPa (line) and the geography (colored) at 14:00 (BT) on March 1, 2017 (The red rectangle represents Yuntai Mountain)

近为云台山脉, 阜宁位于云台山南侧, 由于云台海拔高度在600 m左右, 因此分析时选取975 hPa高度。从图5可以看到, 14时在云台山北部 $F < 0$ , 有弱的锋消, 而在云台山南部, 当锋面过山后,  $F > 0$ 形成锋生, 有利于冷锋的加强, 因此, 对阜宁的大风有一定的加强作用。

### 4 结论和讨论

基于江苏自动站资料、多普勒雷达资料以及NCEP再分析资料, 对2017年3月1日江苏一次灾害性大风过程进行了详细的分析, 得到以下主要结论:

1) 此次江苏大范围灾害性大风过程是黄河气旋后部冷锋迅速加强南下引起的系统性大风过程。整层大气呈现强烈的斜压性结构, 槽后急流和冷平流显著, 地面冷锋自北向南扫过江苏。订正后的探空资料显示14时大气存在层结不稳定。

2) 从连云港雷达资料可以看到, 当锋面经过连云港时, 在锋面两侧径向速度出现不连续现象, 零速度线呈现明显的折角。

3) 随着冷锋的南下, 滨海、赣榆、东海均出现3 h 5 hPa以上的强正变压中心。地面强3 h正变压中心引起的变压风加大, 造成了阜宁及周边地区的灾害性大风。

4) 云台山的地形对冷锋有一定的影响, 冷锋越过云台山后产生锋生, 有利于冷锋的加强, 对阜宁大风有一定的加强作用。

这次大风过程虽然在前期预报中已经提及, 但对量级的把握较差, 预报量级偏小。本文从变压和地形角度分析了造成大风的成因, 并将研究结论应用于2017年5月4日江苏南部气旋影响预报过程中, 取得了比较好的预报效果。因此, 本文的研究成果对预报员有一定的参考价值。

#### 参考文献

- 黄彬, 钱传海, 聂高臻, 等. 干侵入在黄河气旋爆发性发展中的作用. 气象, 2011, 37(12): 1534-1543.
- 黄彬, 代刊, 钱奇峰, 等. 引发黄渤海大风的黄河气旋诊断研究. 气象, 2013, 39(3): 302-312.
- 苗春生, 宋萍, 王坚红, 等. 春夏季节黄河气旋经渤海发展时影响因子对比研究. 气象, 2015, 41(9): 1068-1078.
- 朱男男, 刘彬贤. 一次引发黄渤海大风的爆发性气旋过程诊断分析. 气象与环境学报, 2015, 31(6): 59-67.
- 黄彬, 陈涛, 康志明, 等. 诱发渤海风暴潮的黄河气旋动力学诊断和机制分析. 高原气象, 2011, 30(4): 901-912.
- 查贵, 沈杭锋, 郭文政, 等. 一次爆发性气旋及其诱发的大风天气分析. 高原气象, 2014, 33(6): 1697-1704.
- 侯俊, 管兆勇. 华东地区6—7月锋生的气候学特征及环流结构. 气象学报, 2013, 71(1): 1-22.
- 陈淑琴, 黄辉. 舟山群岛一次低压大风过程的诊断分析. 气象, 2006, 32(1): 68-73.
- 涂小萍, 姚日升, 漆梁波, 等. 浙江省北部一次灾害性大风多普勒雷达和边界层特征分析. 高原气象, 2014, 33(6): 1687-1696.