

# 一次海上冷涡引起的强对流过程及海上大风成因分析

吴姗姗<sup>1</sup>, 龚葵<sup>1</sup>, 傅娜<sup>1</sup>, 俞宏耀<sup>2</sup>

(1. 舟山市气象局, 浙江 舟山 316000; 2. 宁波市海曙区气象局, 浙江 宁波 315000)

**摘 要:** 利用常规观测资料、NCEP再分析资料和雷达资料分析了2020年4月12日一次海上冷涡引起的华东地区强对流天气过程,并重点探讨风力在舟山沿海增强的原因。结果表明:横槽转竖过程中黄海上空的冷涡南压至35°N,发生强对流的华东地区位于冷涡西南方向, $T_{850}-T_{500}$ 中心值超过30℃对本次预报具有指示意义。与14时相比,20时水汽、热力和动力条件均维持或增强。强对流系统经过时出现了冷池,气压涌升所形成的雷暴高压和强气压梯度有利于产生地面极端大风。地面极端大风还与动量下传有关,加上海洋的光滑下垫面和岛屿之间的狭管效应,导致风力在舟山地区增强并普遍比浙北内陆大1~2级。

**关键词:** 冷涡;大风;动量下传

**中图分类号:** P732 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-0239(2022)03-0056-10

## 1 引言

冷涡是我国重要的天气尺度系统之一,能够为中尺度对流系统的发展提供有利的天气背景和物理条件<sup>[1]</sup>。冷涡背景下的对流系统空间尺度较小且演变迅速,会带来雷电、大风或暴雨等灾害性天气,可能导致农业和工业等方面的经济损失,严重影响人们的生产生活。冷涡通常发生于中高纬度地区,我国常见的冷涡包括东北冷涡、华北冷涡和蒙古冷涡等<sup>[2-3]</sup>。Zhang等<sup>[4]</sup>通过对1979—2005年东亚冷涡的统计发现,我国东北-西伯利亚-西北太平洋一带是冷涡出现的高频区,我国东北及其附近区域每年发生4~7个冷涡,5—6月为冷涡最活跃的时候,61%的冷涡维持在2~3 d。夏季,当东北冷涡位置偏南且移动缓慢时,冷涡西南侧有冷空气向南扩散,会诱发突发性强对流天气<sup>[5]</sup>。许爱华等<sup>[6]</sup>认为对流层中高层存在强烈发展的干冷平流易触发高空冷平流强迫类强对流,冷涡是表现形式之一。罗玲等<sup>[7]</sup>对比了2009年6月浙江地区的两次天气过程,认为冷涡背景下可导致区域性暴雨和局地性暴雨,

前者的预报着眼点为高层辐散、低层辐合结构和低空西南急流,后者的预报着眼点为大气的不稳定度与冷涡后部冷空气的干侵入。海上大风是引起海洋灾害的重要原因,已有研究学者对冷空气、低压和热带气旋等引起的海上大风过程进行分析<sup>[8-11]</sup>,但是目前对于冷涡在华东地区引起的雷雨大风尤其是海上大风过程的研究较少。

2020年4月12日一次位置偏南且移速较快的海上冷涡引起的雷雨大风过程先后影响了江苏、上海和浙江三地,并在浙江舟山地区风力加强至13级。本文将利用常规观测资料、雷达资料和美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)6 h一次的再分析资料,对这次过程进行分析并重点探讨风力在舟山沿海地区增强的原因。舟山四面环海,港口众多,有大量石油储运基地,因此对海上大风和雷电的预报有较大需求。本次过程的研究不仅能丰富我们对华东地区尤其是舟山沿海冷涡背景下雷雨大风过程的认识,也对提高冷涡背景下雷雨大风的预报水平和气象防灾减灾能力具有一定的理论和现实意义。

收稿日期: 2021-02-28; 修回日期: 2021-07-20。

基金项目: 舟山市科技项目(2021C31028)。

作者简介: 吴姗姗(1994-),女,助理工程师,硕士,主要从事海洋气象预报、雷电物理学研究。E-mail:2569809253@qq.com

## 2 过程概况

雷雨大风指出现在雷雨天气现象时,风力达到或超过8级(17.2 m/s)的天气现象。2020年4月12日导致雷雨大风过程的冷涡早于常年活跃,冷涡的影响和路径偏南且移速较快。冷涡引起的中尺度对流系统自西北向东南移动,主要影响了江苏、上海和浙江三地。14时(北京时,下同)在江苏中北部上空已有局部对流发生,对流云团向东南方向移动,17时有明显的合并发展,对流云团东侧发展旺盛而西侧较弱,20时对流云团主体在舟山附近,21时对流云团主体大部分移入东海上空并远离,对华东地区的风雨影响显著减弱。图1是2020年4月12日累计降水量和正负地闪分布实况示意图。由于没有湿区配合,本次冷涡带来的降水量不大,大多数地区降水量在5 mm以下。14—15时雨区在江苏北部,之后向东南方向移动,23时之后各地仅分布1 mm以下零星降水。图1a中过程累计降水量的极大值位于江苏、上海和浙江三地的交界处。图1b和图1c分代表正地闪和负地闪的分布和强度情况,标记的大小代表地闪的强度。江苏北部正地闪频数明显高于负地闪,江苏南部以及上海地区负地闪频数高于正地闪频数,海面上正地闪频数再次超过负地闪。正地闪的强度总体上大于负地闪强度。降水量极大值与负地闪的分布

对应较好。前人研究也表明,冷涡天气中的负地闪和对流强弱无明显关系,与降水强度存在一定关系<sup>[11]</sup>,大风类天气以正地闪为主<sup>[12]</sup>。

本文以出现8级风表示对流系统对某区域的风力产生影响。13—14时江苏北部宿迁地区风力增强,开始出现8级风,17—18时逐渐影响上海和浙江。图2是19—20时和20—21时地面观测站测得的10级及以上的极大风分布情况。18—19时江苏、上海和浙江三地无10级风出现。对流系统在19—20时加强,浙北地区(浙北内陆和舟山地区)同时开始出现10级风,内陆以10级风为主。舟山地区以11~12级风为主,其中杭州湾入海口的滩浒站点在19:04首先出现28.7 m/s(11级)阵风,大白山在19:06出现34.9 m/s(12级)阵风。由于海洋的光滑下垫面会对海上大风起到增强作用<sup>[13]</sup>,风速越大海面对大风的增强作用越明显,并且岛屿之间容易产生狭管效应<sup>[14]</sup>,因此舟山比内陆风力增强更明显。舟山群岛上的站点风力普遍比内陆大1~2级,个别站点大3级。20—21时10级及以上大风主要集中在舟山地区,并且仍然分布着大量10~11级风力的站点,风力还未明显减弱。本次过程中舟山全市21个站点出现11级大风,10个站点出现12级大风,4个站点出现13级大风,最大阵风达40.8 m/s(下三星站点)。

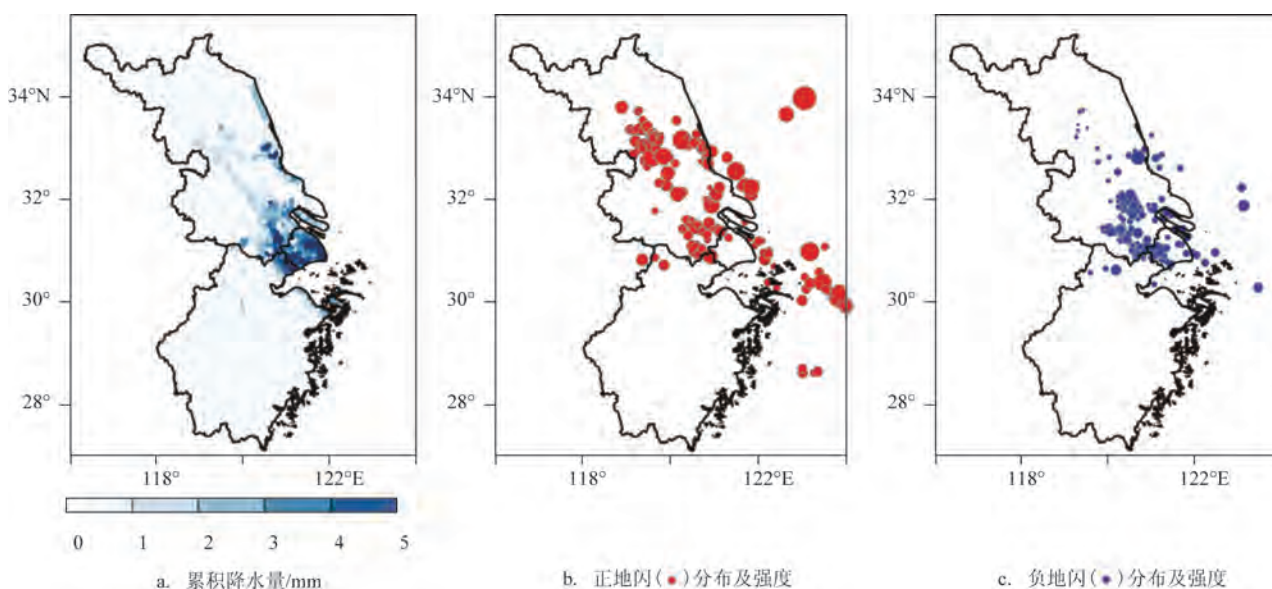


图1 2020年4月12日累计降水量和正负地闪分布

Fig.1 Cumulative precipitation and positive and negative cloud-to-ground lightning flashes distribution on April 12, 2020

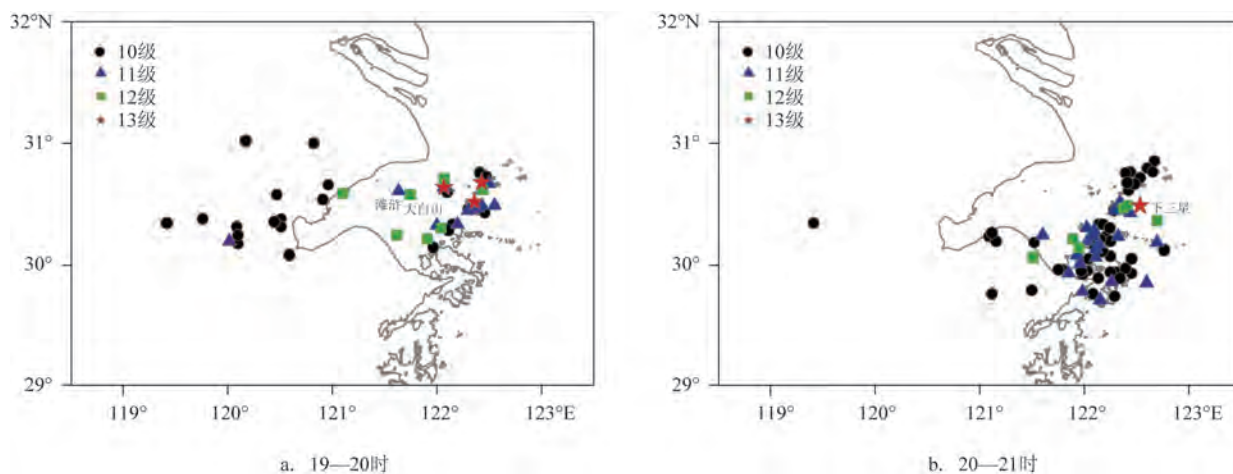


图2 2020年4月12日地面观测站测得的10级及以上的极大风分布

Fig.2 Distribution of maximum wind velocity above magnitude 10 measured by ground stations on April 12, 2020

### 3 大尺度环流背景

本次冷涡引起的雷雨大风过程前期有阻塞高压和横槽的发展。4月7日08时贝加尔湖以北有暖脊,阻塞高压西侧和东侧分别为蒙古小槽和东北冷涡;8日08时阻塞高压东侧的蒙古小槽正逐渐与东北冷涡打通;9日08时横槽已基本形成;12日08时黄海海面上从西风槽切断出冷涡。

图3是500 hPa高度场上冷涡在横槽背景下的移动和演变。Nieto等<sup>[15]</sup>对北半球切断低压进行气候统计分析,定义了典型切断低压生命周期的4个阶段。12日雷雨大风发生时处于冷涡的成熟阶段,高层冷中心逐渐发展成熟,对流层内形成成熟的闭合环流。涡旋系统移动性较强,14日08时冷涡移出145°E以东,并失去冷中心。12日08时在500 hPa上有冷涡位于黄海北部上空,有低压中心和闭合冷中心存在,低压中心强度为5 440 gpm,冷中心强度为-32℃;08—20时冷涡一边加强(低压中心强度5 440 gpm范围扩大)一边南压(37°~35°N);20时—次日02时一边加强(5 440~5 400 gpm)一边东移(128°~131°E)。发生强对流的华东地区位于冷涡西南方向和500 hPa冷槽下方。斯公望<sup>[16]</sup>指出,冷涡云系附近或者后部都有可能出现不同程度的对流云发展,尤其是冷涡后部常为晴空区,并伴有高空冷平流与低空暖平流叠加,低层地面白天辐射增温,在这一区域容易形成不稳定层结,有利于对流发展。

700 hPa及以下形势场与500 hPa一致,均处于西北气流中,且500 hPa、700 hPa和850 hPa都存在急流带。500 hPa及以下各层均可见低压环流存在,低压中心随着高度下降向东南方向偏移,槽线系统结构从低层到高层接近垂直,略呈后倾槽形态。从海平面气压场看(图略),华东沿海处于陆地高压和东海低压的梯度中,是导致大风的成因之一。14时地面冷高压中心为1 025 hPa,东海低压中心为1 000 hPa;20时冷高压中心减弱为1 022.5 hPa,东海低压增强至997.5 hPa,气压差变化不明显。

### 4 物理量场分析

#### 4.1 水汽特征分析

许多研究表明,水汽、不稳定和抬升是形成强对流的3个有利条件<sup>[17-18]</sup>。当本地有足够多的水分且有水汽源源不断地输入时才可能形成暴雨。12日强对流过程发生时,江苏、上海和浙江三地上空为整层的西北气流,水汽条件较差。从图4可以看出,14时水汽通量中心值位于江苏沿海,在4 g/(s·hPa·cm)以下,江苏上空有弱的水汽辐合。20时水汽通量中心值南移并增强至6~7 g/(s·hPa·cm),水汽辐合中心在舟山上空,辐合中心的水汽通量散度为 $-2.4 \times 10^{-8}$  g/(s·hPa·cm<sup>2</sup>),这与以往文献中暴雨发生时的水汽通量散度值相比明显偏小<sup>[17]</sup>。夜里舟山上空的各项水汽条件与14时江苏上空的水汽条件相比均增强,更有利于雷暴发展,这可能也

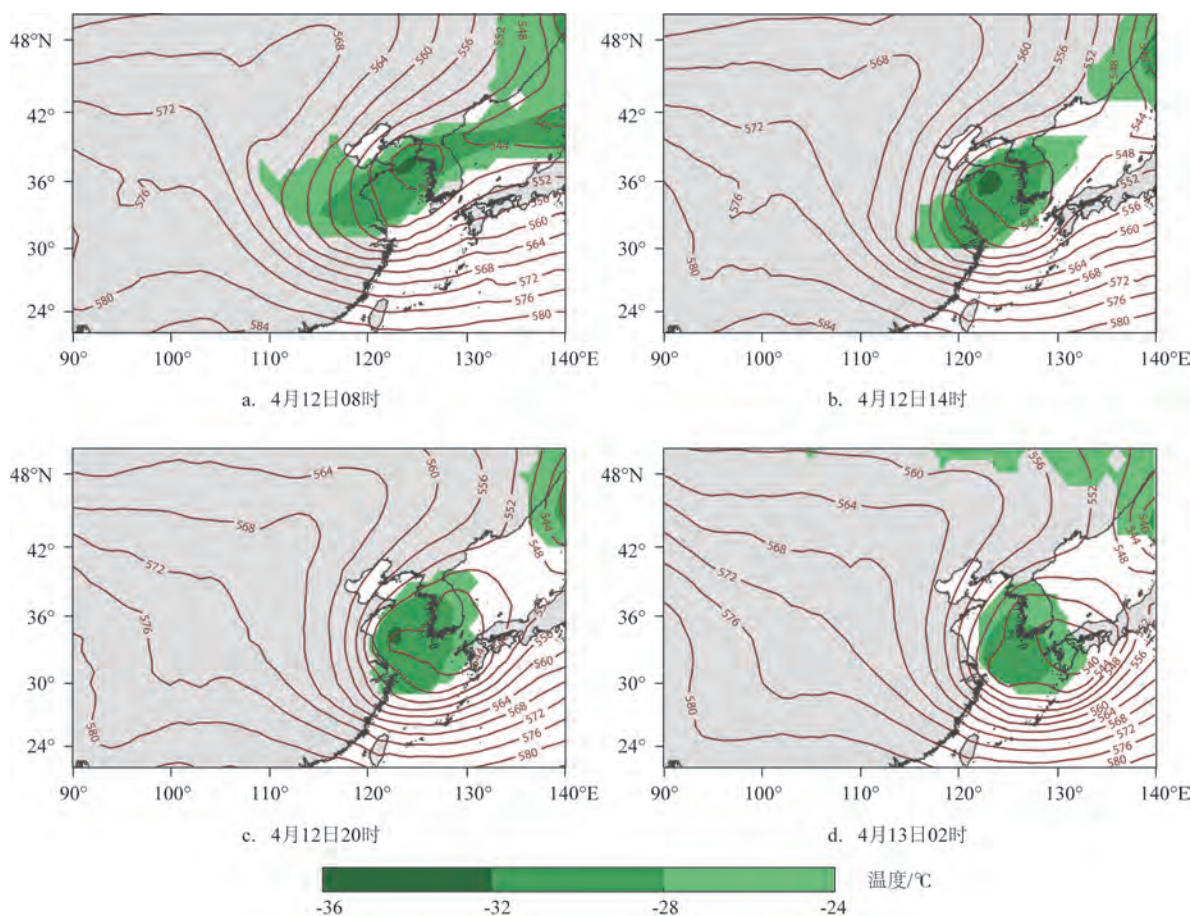


图3 4月12—13日500 hPa高度场上冷涡的移动和演变(等高线单位:位势什米)

Fig.3 Movement and evolution of the cold vortex over 500 hPa from April 12 to 13(Geopotential height unit:dagpm)

是本次雷暴系统入海发展的原因之一。

## 4.2 热力不稳定条件

对流有效位能(Convective Available Potential Energy, CAPE)、抬升指数(Lift Index, LI)和850 hPa与500 hPa之间的温差( $T_{850}-T_{500}$ )是天气预报中常用的热力不稳定指数。图5是3个指数在14时和20时的分布情况,其中图5a和5b分别是CAPE值和LI( $LI<0$ )的分布。本次过程CAPE值低于600 J/kg, CAPE值较小,但也为雷电的发生提供了能量条件。当 $LI<0$ 时,大气层结不稳定,负值越大则不稳定程度越大,反之则表示大气层是稳定的。14时LI最大负值达到 $-3.99^{\circ}\text{C}$ , 20时LI最大负值为 $-2.2^{\circ}\text{C}$ 。图5c和5d是12日14时和20时 $T_{850}-T_{500}$ 值的分布情况,上冷下暖结构非常明显,发生对流时850 hPa和500 hPa温差中心值超过 $30^{\circ}\text{C}$ 。对比以上3个指

数,14时的热力条件与20时相比更好。这与许爱华等<sup>[6]</sup>总结的中国中东部强对流天气的特点较为一致,中高层较强干冷空气叠加在低层相对暖(湿)气流上,使得大气温度垂直递减率大, $T_{850}-T_{500}$ 对本次过程的预报更具有指示意义。

## 4.3 垂直速度及风场分析

在中小尺度中,垂直运动是云的形成和降水发生的必要条件之一,垂直运动与大气热量、动量的垂直输送以及大气中位能和动能之间的相互转换有密切关系。俞小鼎等<sup>[19]</sup>研究认为,雷雨大风是由强对流风暴中处于成熟阶段单体中的下沉气流,在近地面处向水平方向扩散形成的辐散性阵风而产生的。王雷<sup>[20]</sup>也指出大风过程中,风力大小除了取决于地面气压梯度外,还与垂直下沉速度密切相关。图6是14时和20时强对流发生时相应纬度处

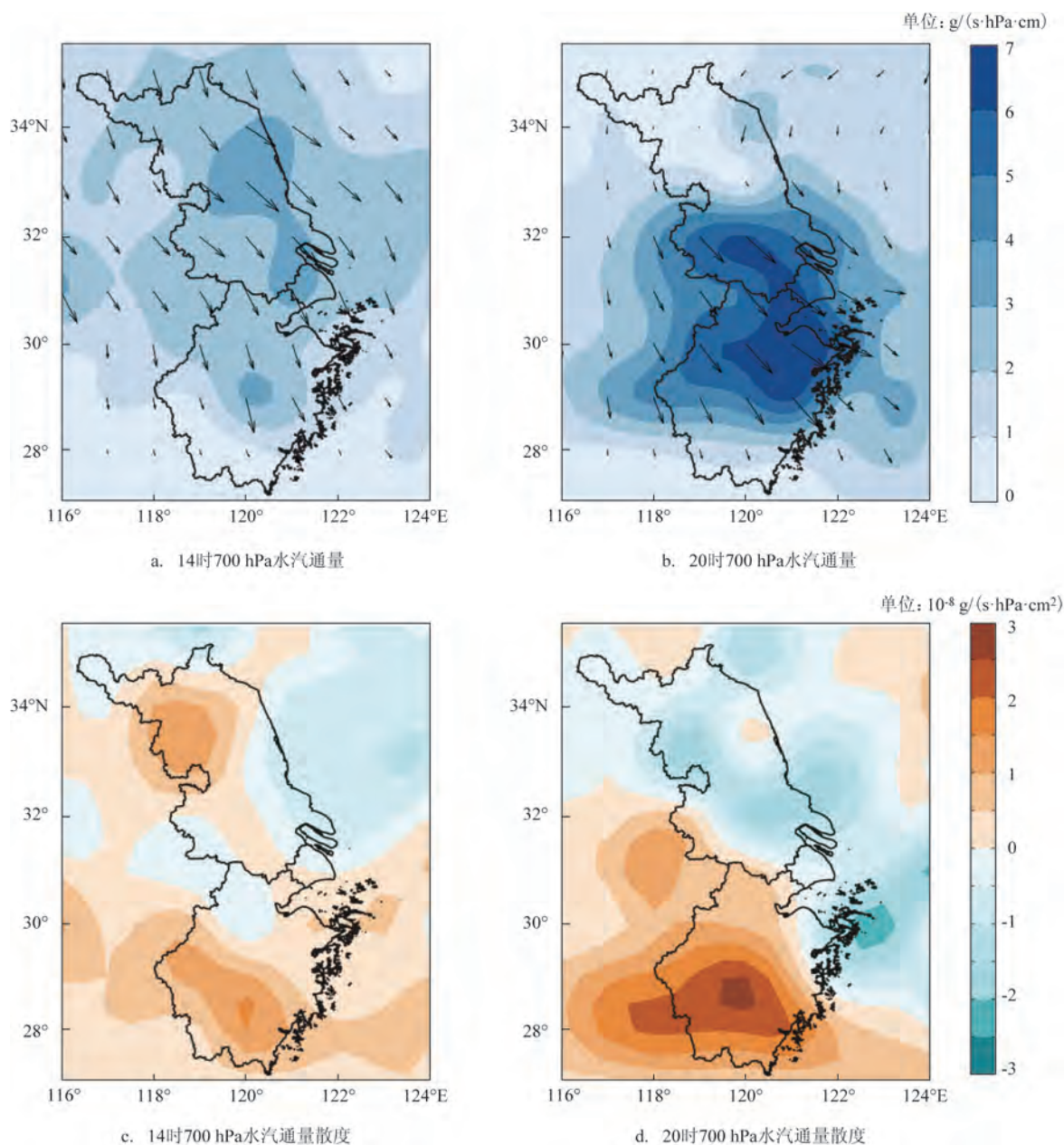


图4 4月12日14时和20时700 hPa水汽通量和水汽通量散度

Fig.4 Water vapor flux and water vapor flux divergence over 700 hPa at 14:00 and 20:00 on April 12

的垂直速度和纬向风合成剖面图。14时对流发展不明显,对流系统处(34°N, 120°E)下沉气流中心高度较高,下沉速度中心值为1.10 Pa/s。20时对流发展旺盛,上升气流和下沉气流均显著增强,对流系统处(31°N, 122°E)下沉气流中心高度较低,下沉速度中心值为2.48 Pa/s。王雷对比了两次地面气压梯度接近(强风出现时地面5个经距120°~125°E大约

有5条等压线)的大风过程,925 hPa的下沉速度分别为0.44 Pa/s和0.12 Pa/s,分别产生了10~11级和9~10级的大风过程,前者由于较大的下沉速度导致了更大的过程风力。此次雷雨大风过程地面梯度较疏散,但是下沉速度更大,下沉气流在近地面的水平方向扩散是此次大风产生的相对更重要的原因。

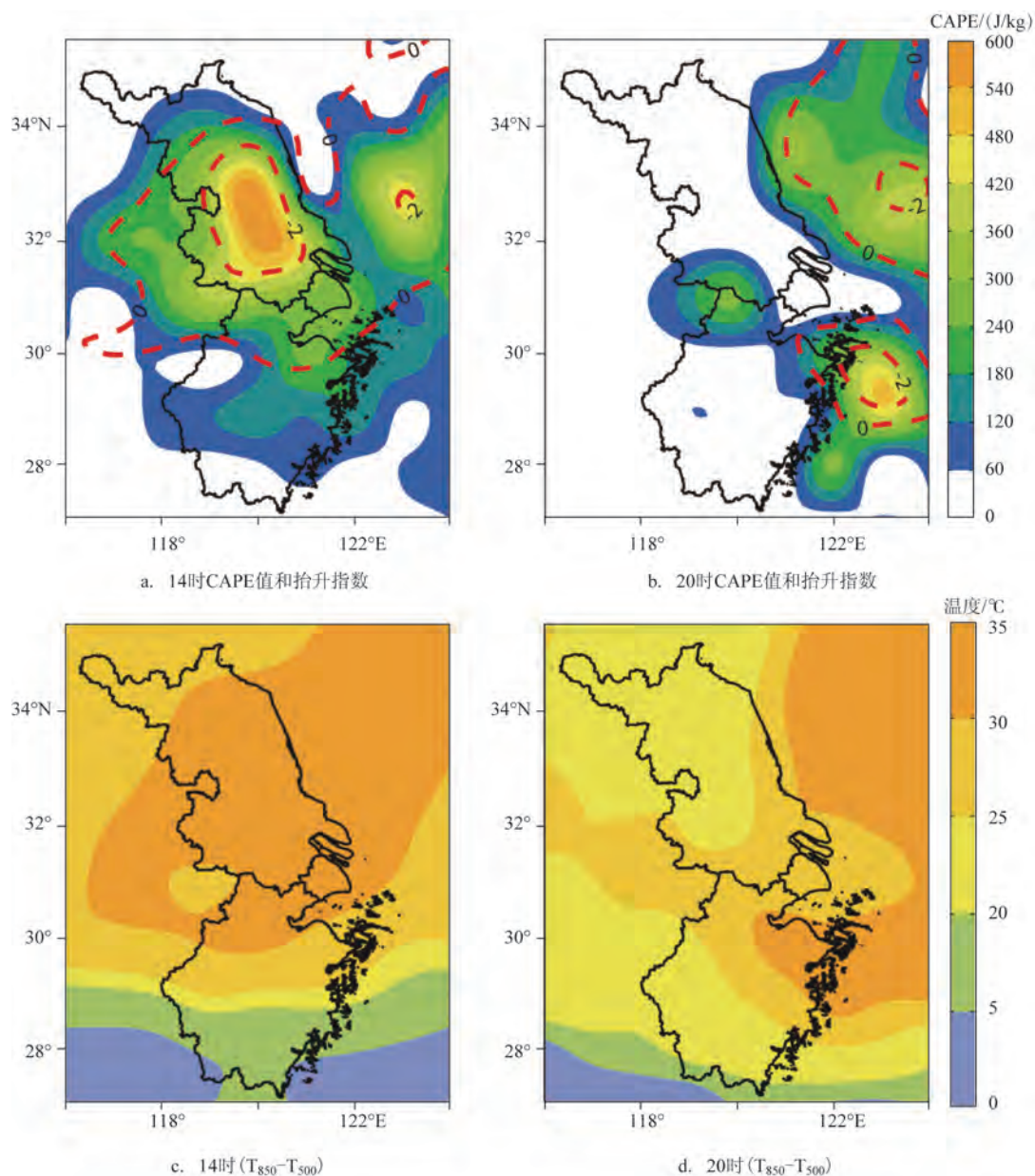


图5 4月12日14时和20时热力条件

Fig.5 Thermal condition at 14:00 and 20:00 on April 12

## 5 测站气象要素分析

### 5.1 测站要素变化

为进一步了解强对流经过时气象要素的变化特征,我们分析了舟山地区4个国家站(嵊泗站、岱山站、定海站和普陀站)4月12日18—24时气象要素随时间的变化特征。图7中4个国家站先后经历

了气压陡升、风速加大和温度骤降等现象。由于强对流系统从西北向东南移动,嵊泗站的温度、气压和风速最早出现剧烈变化,19:40温度为14.5℃,20:00降为10.2℃,降温幅度达0.215℃/min。岱山、定海和普陀站也先后于4月12日20:05、20:15和20:35发生气温的骤降,1h的降温幅度为4~5℃。强对流系统经过时测站出现了冷池,有高速下沉的冷气流,各测站出现了气压的陡升,各站1h气压升

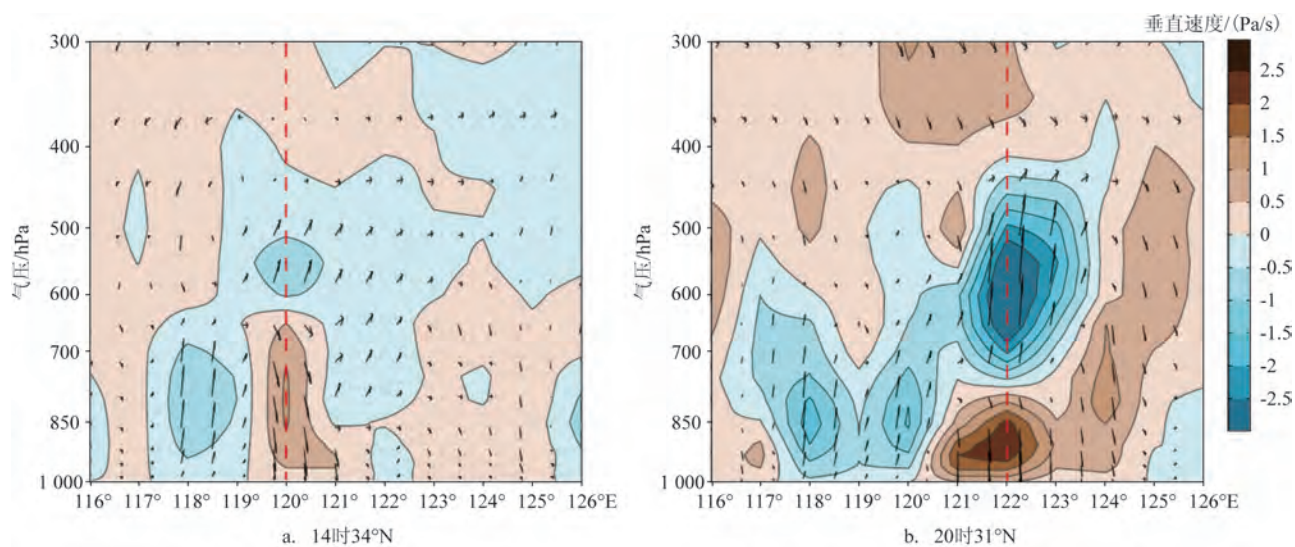


图6 4月12日14时和20时34°N和31°N的垂直速度和纬向风合成剖面图(蓝色代表上升气流,褐色代表下沉气流)

Fig.6 Latitude-pressure cross-sections of meridional wind on 34°N and 31°N at 14:00 and 20:00 on April 12 (Blue shading denotes the updraft, brown shading denotes the downdraft)

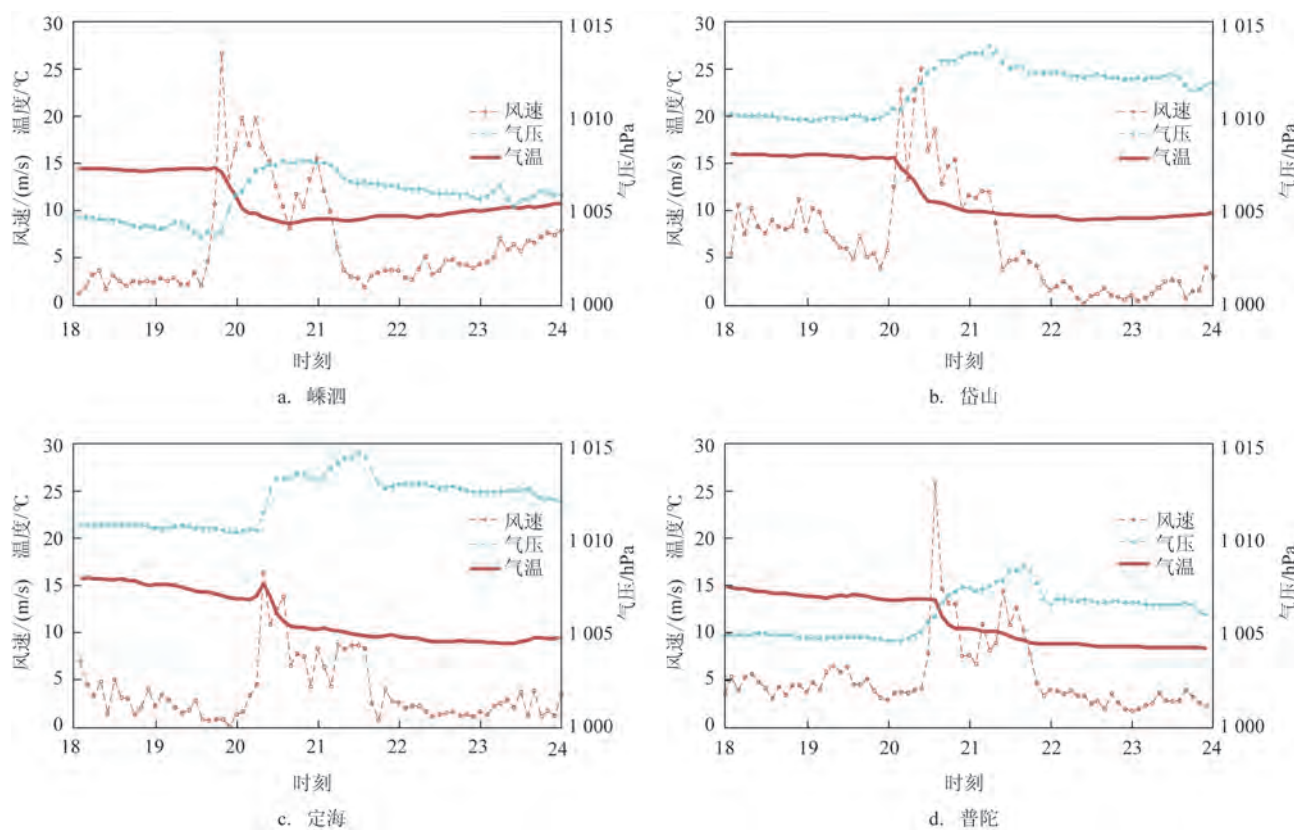


图7 4月12日18—24时舟山地区4个国家站的气温、风速和气压随时间变化曲线

Fig.7 Time series of air temperature, wind speed and pressure observed at four national stations in the Zhoushan area between 14:00—24:00 on April 12

高3 hPa以上,其中嵊泗站的气压变化最明显,1 h气压升高3.9 hPa。气压涌升形成的雷暴高压和强气压梯度有利于地面极端大风的出现。

## 5.2 舟山雷达风廓线资料分析

雷达风廓线资料能弥补常规观测资料空间分辨率不足的问题<sup>[21-22]</sup>。雷达垂直风廓线产品是应用相继时间的体积扫描资料将每个高度上的平均风向风速用风向杆形式绘在一张图上,可得到平均风向风速随高度和时间变化的剖面图形。“ND”一般认为是干区。

图8是18:55—20:22舟山雷达风廓线图,其中

20:16雷达站风力出现过程最大风力29.1 m/s。19:44之前,雷达站上空大气呈“上干下湿”结构并且干层逐渐变湿,另外,近地层风向随高度顺转,逐渐由西南风转为偏西风,说明近地层存在暖平流加剧层结不稳定,有利于对流发展。19:44之后,近地层风向随高度逆转出现冷平流,这是由于对流系统内的下沉气流将高空较冷的空气带至低层并形成较强的辐散气流产生的。随着时间的推进,高空的旗帜风(风速 $\geq 20$  m/s)向低空传递,大风速轴明显下移,出现动量下传现象,动量下传是此次大风产生的加强因素,地面极端大风不仅由下沉气流造成,还与动量下传有关。

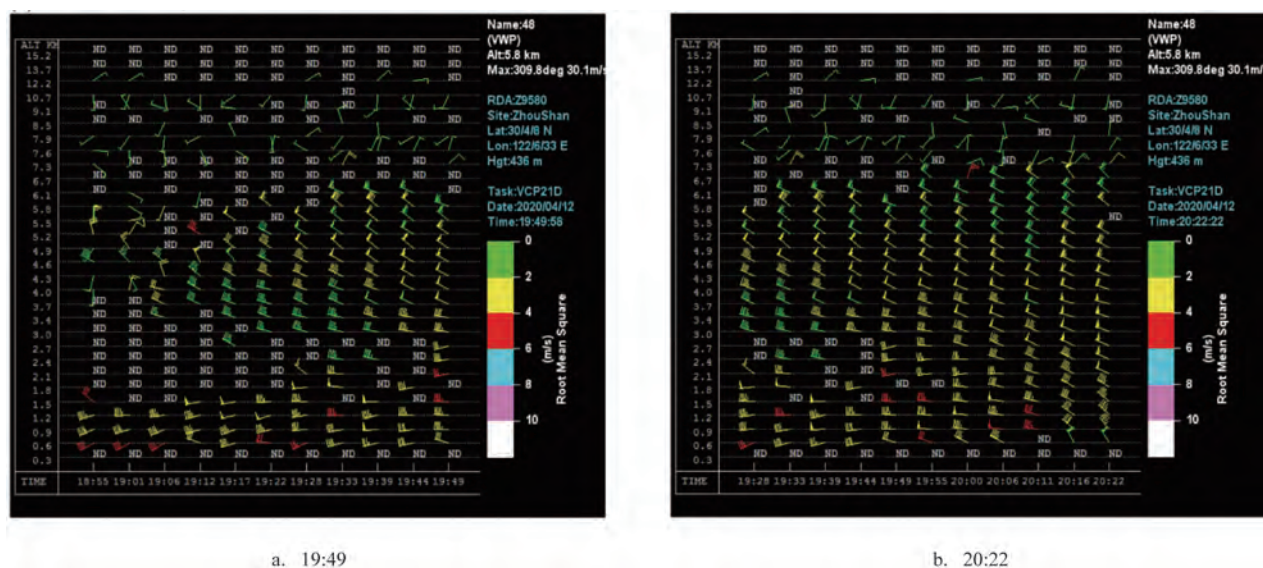


图8 4月12日18:55—20:22舟山雷达风廓线

Fig.8 Radar wind profile in Zhoushan from 18:55 to 20:22 on April 12

## 6 总结与讨论

利用常规观测资料、NCEP再分析资料和雷达资料分析了2020年4月12日由海上冷涡引起的华东地区强对流天气过程并重点探讨风力在舟山沿海地区增强的原因。结果表明:

(1)此次过程具有冷涡影响位置偏南、移速快、降水量少和风力强等特点。19—20时浙北地区风力增强,其中内陆以10级风为主,舟山地区以11~12级风为主(11级大风有21个站点,12级大风有10个站点,13级大风有4个站点)。

(2)这是一次高空冷平流强迫型强对流。从形

势场上看,贝加尔湖以北有阻塞高压发展,横槽转竖的过程中冷涡中心南压至35°N。发生强对流的华东地区位于冷涡西南方向500 hPa冷槽下方。槽后强西北气流有利于天气放晴,午后近地面辐射增温是雷雨大风发生的激发机制。 $T_{850}-T_{500}$ 中心值超过30℃对本次过程的预报更具有指示意义。

(3)与14时相比,20时水汽、热力和动力条件均维持或增强,有利于强对流系统在舟山地区的维持和加强。强对流系统经过时各测站出现了冷池,气压涌升形成的雷暴高压和强气压梯度有利于地面极端大风的出现。地面极端大风不仅由下沉气流造成,还与动量下传有关,加上海洋的光滑下垫面

和岛屿之间的狭管效应,导致风力在舟山地区增强并普遍比浙北内陆大1~2级。

### 参考文献:

- [1] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 4版. 北京: 气象出版社, 2007: 374.
- Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, et al. Principle and method of synoptic meteorology[M]. 4th ed. Beijing: Meteorological Press, 2007: 374.
- [2] 李江波, 王宗敏, 王福侠, 等. 华北冷涡连续降雹的特征与预报[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 1119-1131.
- Li J B, Wang Z M, Wang F X, et al. Characteristic and forecasting of continuous hail shooting processes caused by the North China cold vortex[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(4): 1119-1131.
- [3] 符娇兰, 陈双, 沈晓琳, 等. 两次华北冷涡降水成因及预报偏差对比分析[J]. 气象, 2019, 45(5): 606-620.
- Fu J L, Chen S, Shen X L, et al. Comparative study of the cause of rainfall and its forecast biases of two cold vortex rainfall events in North China[J]. Meteorological Monthly, 2019, 45(5): 606-620.
- [4] Zhang C, Zhang Q, Wang Y, et al. Climatology of warm season cold vortices in East Asia: 1979-2005[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2008, 100(1-4): 291-301.
- [5] 张立祥, 李泽椿. 东北冷涡研究概述[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(2): 218-228.
- Zhang L X, Li Z C. A summary of research on cold vortex over northeast China[J]. Climatic and Environmental Research, 2009, 14(2): 218-228.
- [6] 许爱华, 孙继松, 许东蓓, 等. 中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J]. 气象, 2014, 40(4): 400-411.
- Xu A H, Sun J S, Xu D B, et al. Basic synoptic situation classification and element character of severe convection in China [J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(4): 400-411.
- [7] 罗玲, 胡亮, 何金海, 等. 东北冷涡背景下浙江省两次强降水过程的对比分析[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(6): 35-42.
- Luo L, Hu L, He J H, et al. Comparison of two rainstorm processes in Zhejiang province caused by northeast cold vortex[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2011, 27(6): 35-42.
- [8] 陈淑琴, 黄辉. 舟山群岛一次低压大风过程的诊断分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 68-73.
- Chen S Q, Huang H. Diagnosis of gales caused by depression in Zhoushan islands[J]. Meteorological Monthly, 2006, 32(1): 68-73.
- [9] 徐哲永, 王雷, 王坚侃. 舟山群岛海域一次大风过程的诊断分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(5): 53-58.
- Xu Z Y, Wang L, Wang J K. Diagnosis analysis of a strong gale in Zhoushan islands[J]. Marine Forecasts, 2012, 29(5): 53-58.
- [10] 俞燎霓, 钱惠平, 董美莹, 等. 热带气旋“麦莎”和“韦帕”在浙江产生大风对比分析[J]. 海洋预报, 2013, 30(3): 40-45.
- Yu L N, Qian H P, Dong M Y, et al. Comparative analysis of the wind caused by tropical cyclone Matsa and Wihpa in the Zhejiang province[J]. Marine Forecasts, 2013, 30(3): 40-45.
- [11] Hsieh Y P. An investigation of a selected cold vortex over North America[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1949, 6(6): 401-410.
- [12] 张一平, 王新敏, 牛淑贞, 等. 河南省强雷暴地闪活动与雷达回波的关系探析[J]. 气象, 2010, 36(2): 54-61.
- Zhang Y P, Wang X M, Niu S Z, et al. Analysis of relationship between cloud-to-ground lightning activities of severe thunderstorm and radar echo in Henan[J]. Meteorological Monthly, 2010, 36(2): 54-61.
- [13] 盛春岩, 李建华, 范苏丹. 地形及下垫面对渤海大风影响的数值研究[J]. 气象, 2014, 40(11): 1338-1344.
- Sheng C Y, Li J H, Fan S D. Numerical study of terrain and underlying surface effect on Bohai gale[J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(11): 1338-1344.
- [14] 杨仁勇, 冯文, 许向春, 等. 琼州海峡大风数值模拟及地形敏感性试验[J]. 热带气象学报, 2011, 27(1): 95-100.
- Yang R Y, Feng W, Xu X C, et al. Numerical simulation and terrain sensitivity experiment on gale winds at Qiongzhou Strait [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2011, 27(1): 95-100.
- [15] Nieto R, Gimeno L, de La Torre L, et al. Climatological features of cutoff low systems in the Northern Hemisphere[J]. Journal of Climate, 2005, 18(16): 3085-3103.
- [16] 斯公望. 暴雨和强对流环流系统[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 1-350.
- Si G W. Heavy rains and strong convective circulation system [M]. Beijing: Meteorological Press, 1988: 1-350.
- [17] 许爱华, 张瑛, 刘献耀. 江西“暖区”强对流天气的热力和动力条件诊断分析[J]. 气象, 2001, 27(5): 30-34.
- Xu A H, Zhang Y, Liu X Y. Diagnosis of thermal and dynamic conditions of warm area severe convection in Jiangxi province[J]. Meteorological Monthly, 2001, 27(5): 30-34.
- [18] 苏永玲, 何立富, 巩远发, 等. 京津冀地区强对流时空分布与天气学特征分析[J]. 气象, 2011, 37(2): 177-184.
- Su Y L, He L F, Gong Y F, et al. A study of temporal-spatial distribution and synoptic characteristics of severe convective weather in Beijing, Tianjin and Hebei[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(2): 177-184.
- [19] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 122-123, 169.
- Yu X D, Yao X P, Xiong T N, et al. Doppler weather radar principle and application[M]. Beijing: Meteorological Press, 2006: 122-123, 169.
- [20] 王雷. 两次大风过程的对比分析[J]. 海洋预报, 2006, 23(3): 36-41.
- Wang L. The contrasting analysis of strong two wind processes [J]. Marine Forecasts, 2006, 23(3): 36-41.
- [21] 张京英, 漆梁波, 王庆华. 用雷达风廓线产品分析一次暴雨与高低空急流的关系[J]. 气象, 2005, 31(12): 41-45.

Zhang J Y, Qi L B, Wang Q H. Analysis of relationship between heavy rain and Jetstream with radar VWP product[J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(12): 41-45.

[22] 何平, 朱小燕, 阮征, 等. 风廓线雷达探测降水过程的初步研究

[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 465-470.

He P, Zhu X Y, Ruan Z, et al. Preliminary study on precipitation process detection using wind profiler radar[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(4): 465-470.

## Analysis of the strong convection process caused by a cold vortex at sea and the cause of sea surface gale

WU Shanshan<sup>1</sup>, GONG Yan<sup>1</sup>, FU Na<sup>1</sup>, YU Hongyao<sup>2</sup>

(1. Zhoushan Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Zhoushan 316000 China; 2. Ningbo Haishu Meteorological Bureau, Ningbo 315000 China)

**Abstract:** Using conventional observation data, NCEP reanalysis data and radar data, the strong convection weather process over Eastern China caused by a cold vortex at sea on April 12, 2020 is analyzed and the reasons for the wind intensification over the coastal area of Zhoushan are discussed. The results show that the cold vortex is forced to 35°N during the vertical rotation of the horizontal trough over the Yellow Sea, and the Eastern China where strong convection occurs is located to the southwest of the cold vortex. The temperature difference between the center of 850 hPa and 500 hPa exceeds 30°C, which is indicative for the prediction of this process. The water vapor, thermal and dynamical conditions are maintained or enhanced at 20:00 compared to that at 14:00. Cold pools appear when strong convective systems passes through, and the thunderstorm high pressure and strong pressure gradient caused by the air pressure surge is conducive to the generation of extreme gale on the ground. The extreme wind on the ground is also related to the downward momentum transmission, along with the smooth underlying ocean surface and the "narrow tube effect" between the islands, resulting in the wind strengthening in the Zhoushan area that is generally 1~2 magnitude larger than northern Zhejiang.

**Key words:** cold vortex; gale; momentum transmission