

“130318”渤海强风天气成因分析

孙青^{1,2}, 盛春岩³, 刘畅⁴, 范苏丹³

(1. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 山东省气象局, 山东 济南 250031;
3. 山东省气象科学研究所, 山东 济南 250031; 4. 山东省气象台, 山东 济南 250031)

摘 要: 应用国家自动气象观测站资料、常规观测资料和NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 气候预测系统再分析资料, 分析了2013年3月18日发生在渤海海域的一次强风天气过程, 并剖析了其成因。结果表明: 此过程为冷锋影响下的偏北大风, 大风影响过程中, 自上而下形成了冷平流的传输通道, 冷空气向低层迅速传播, 造成近地面层强冷平流, 是强风产生的重要原因, 同时冷空气影响时, 强烈变压引起的变压风是强风产生的另一重要原因。另外, 前期增温使得冷锋来临时锋区强度加大, 从而引发强风。当冷锋过境, 垂直锋面的次级环流导致强烈的动量下传也是造成瞬时强烈阵风的重要原因之一。

关键词: 冷锋; 动量下传; 变压风; 次级环流

中图分类号: P732.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)02-0051-09

1 引言

山东半岛北临渤海海峡, 东南临靠黄海, 近海海域占渤海和黄海总面积的37%, 海洋资源得天独厚。随着经济社会的发展, 海上灾害性天气对人民生命财产安全的影响日益引发关注。近海强风是山东沿海最常见的气象灾害之一。近年来, 山东新增了海岛站、浮标站和船舶站, 为海上大风的深入研究创造了条件。尹尽勇等^[1]统计分析了冬季黄渤海海域大风天气过程及其与船损灾害的关系, 指出冬季影响黄渤海的冷空气过程主要来自西北路径, 风灾事故占渔船全损事故的51.85%。吴曼丽等^[2]分析了黄渤海北部沿海大风的时空变化特征, 指出该区域大风主要出现在春季, 冷锋后部型大风出现次数最多。李超等^[3]分析了江苏沿海大风特征及其变化趋势, 发现春季沿海大风以偏北风为主。杨晓霞等^[4]统计分析了山东沿海偏北大风的特征并对其进行天气学分型, 对各类型物理量空间结构和形成机理进行了研究。

对于海上强风的成因, 不同学者先后从诸多角度进行了深入分析。王雷^[5]、项素清等^[6]分析了2004年12月底浙北沿海冷空气强风过程, 陈淑琴等^[7]对2005年4月舟山群岛的一次低压大风过程进行了诊断分析, 吴海英等^[8]对2005年12月江苏近海强冷空气大风发生发展的物理过程进行了探讨, 盛春岩等^[9]对2009年4月发生在渤海和山东的强风过程进行了动力学诊断, 徐哲永等^[10]对2010年3月舟山群岛海域出现的一次大风过程进行了诊断分析。以上研究发现: 在天气尺度背景下, 强冷空气南下、气压梯度增大、高空动量下传、地面变压场及变压梯度增强、中低空辐合辐散差异是造成边界层强风的主要原因。

2013年3月18日, 渤海海面出现了一次强风天气过程, 受其影响, 由天津驶往浙江台州的天津籍集装箱货轮“光阳新港”号, 在渤海中部($38^\circ 6.4'N$ 、 $119^\circ 36.5'E$, 龙口港西北约40 n mile, 见图1a)沉没, 船上14人遇难。本文利用自动气象观测站东营1号石油平台站和烟台纪姆岛站资料、常规气象观测

收稿日期: 2016-06-28; 修回日期: 2016-09-21。

基金项目: 中国气象局公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY201106006)。

作者简介: 孙青(1984-), 女, 助理工程师, 学士, 主要从事气象预报预测业务管理工作。E-mail: sdqxsq@sina.cn

资料和NCEP再分析资料,采用了物理量诊断分析的方法,剖析了强风天气的成因,以期为海上强风预报提供预报思路。

2 天气过程概述

受冷空气影响,3月18日渤海海面出现强风天气。根据气象站观测资料,气温从08时(北京时,下同)开始明显下降,表明冷空气已南下抵达该区域。大风过程从18日上午开始,最大风力时段为中午前后(见图1b)。09时,莱州湾附近的东营1号石油平台站(见图1c)2 min平均风速达20.8 m/s(9级),瞬时风速达29.1 m/s(11级)。12时,烟台纪姆岛(见图1d)瞬时风速达22.5 m/s(9级)。14—17时,烟台龙口附近沿海海面东北风6级,阵风8级,成山头站出现7级大风。

本文利用NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 气候预测系统再分析资料(Climat Forecast System Reanalysis ,CFSR),逐

小时分析了此次强风在海上的发展过程(图略)。18日05时,渤海最北部的辽东湾开始出现6级以上东北风,渤海中部和南部海域为弱的偏南气流控制。随后,强风区向南扩张,东北风最大风速迅速增大到24.0 m/s。10时后,强风影响范围抵达莱州湾,此时,整个渤海为东北风控制,强风区风力维持在20.0 m/s以上。17时,强风区向东移出渤海。整个过程风力最大时段为07—14时,与莱州湾附近沿海地面气象观测站观测到的数据基本一致。

据了解,光阳新港轮于17日23时驶离天津港,行至渤海中部出事海域时为18日14时左右,此时渤海正处于风力最大时段。据海洋资料显示,从18日中午起,渤海中部出现2.0~3.5 m的浪区。强风及大浪是引发海难事件的直接原因。此次过程主要影响渤海海面,而对陆地影响不大,强风历时短,发展迅速,虽提前做出了7级以上大风的预报,但仍未避免悲剧的发生。

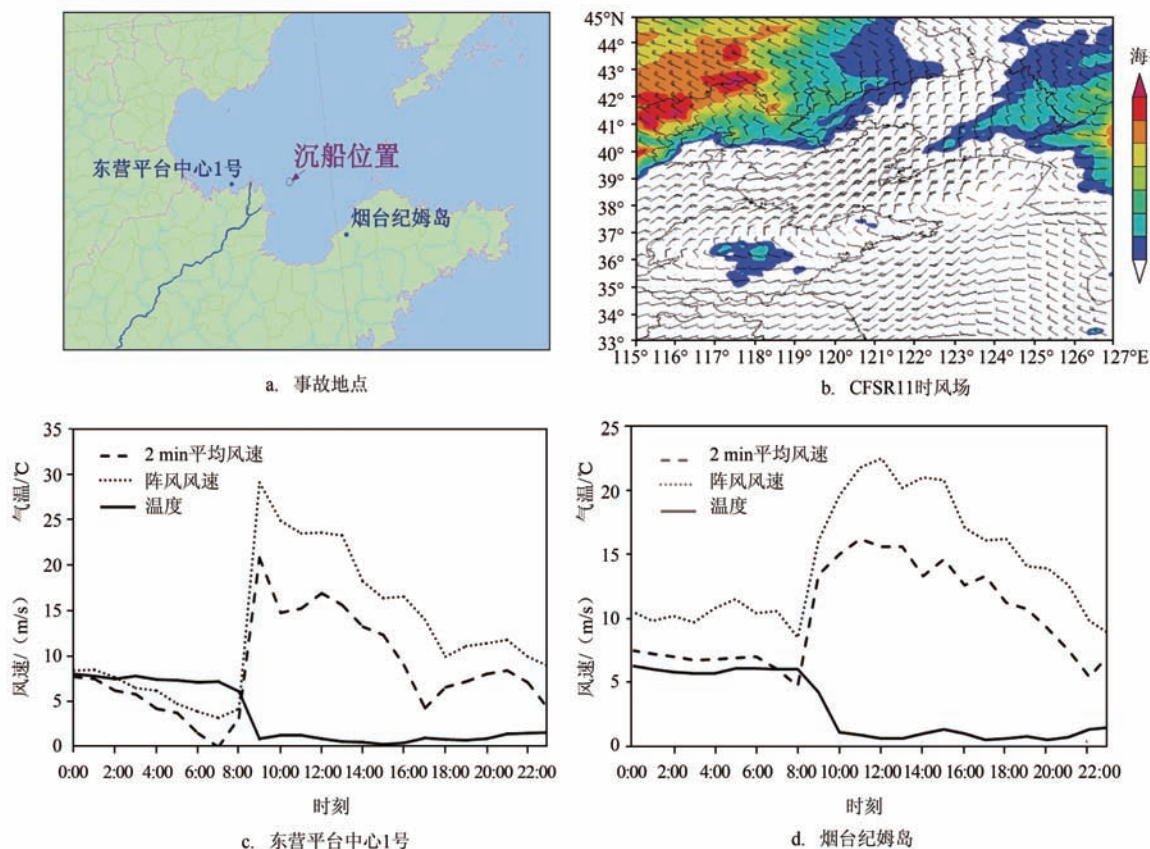


图1 事故地点及选取的代表站风速、阵风风速和温度图

3 天气形势分析

18日08时,高空500 hPa(见图2a)上欧亚大陆中高纬度地区经向环流特征显著,呈“一槽一脊”分布特征,高压脊位于乌拉尔山以东地区,东亚大槽位于大陆东岸,东北地区有一冷涡发展,配合着 -40°C 冷中心。冷涡后部,高压脊前部,冷空气不断下滑影响我国中东部地区。700 hPa(见图2b)槽的位置偏东,850 hPa(见图2c)等压面上河套以东,华北地区锋区发展强烈, $14\sim 16^{\circ}\text{C}/10$ 纬距, 风向与等温线走向近乎垂直,冷平流较强。对应此时海平面气压场(见图2d)中,冷锋自辽东半岛东部海面经黄渤海面延伸至华北地区南部,冷锋前部有低压发

展,说明锋前暖空气较为强盛,导致锋区强度较强。随后,冷锋携带冷空气南下,造成了渤海和黄海强风天气。可见,此次强风天气过程发生在经向环流背景下,北路冷空气自高纬南下,是一次冷锋大风天气过程。

4 物理量场分析

利用NCEP气候预测系统再分析资料,对此次过程的物理量场进行诊断分析。

4.1 边界层温度平流的演变

通过天气形势场分析发现,在冷空气影响过程中,850 hPa 风向与等温线几乎垂直,冷平流非常

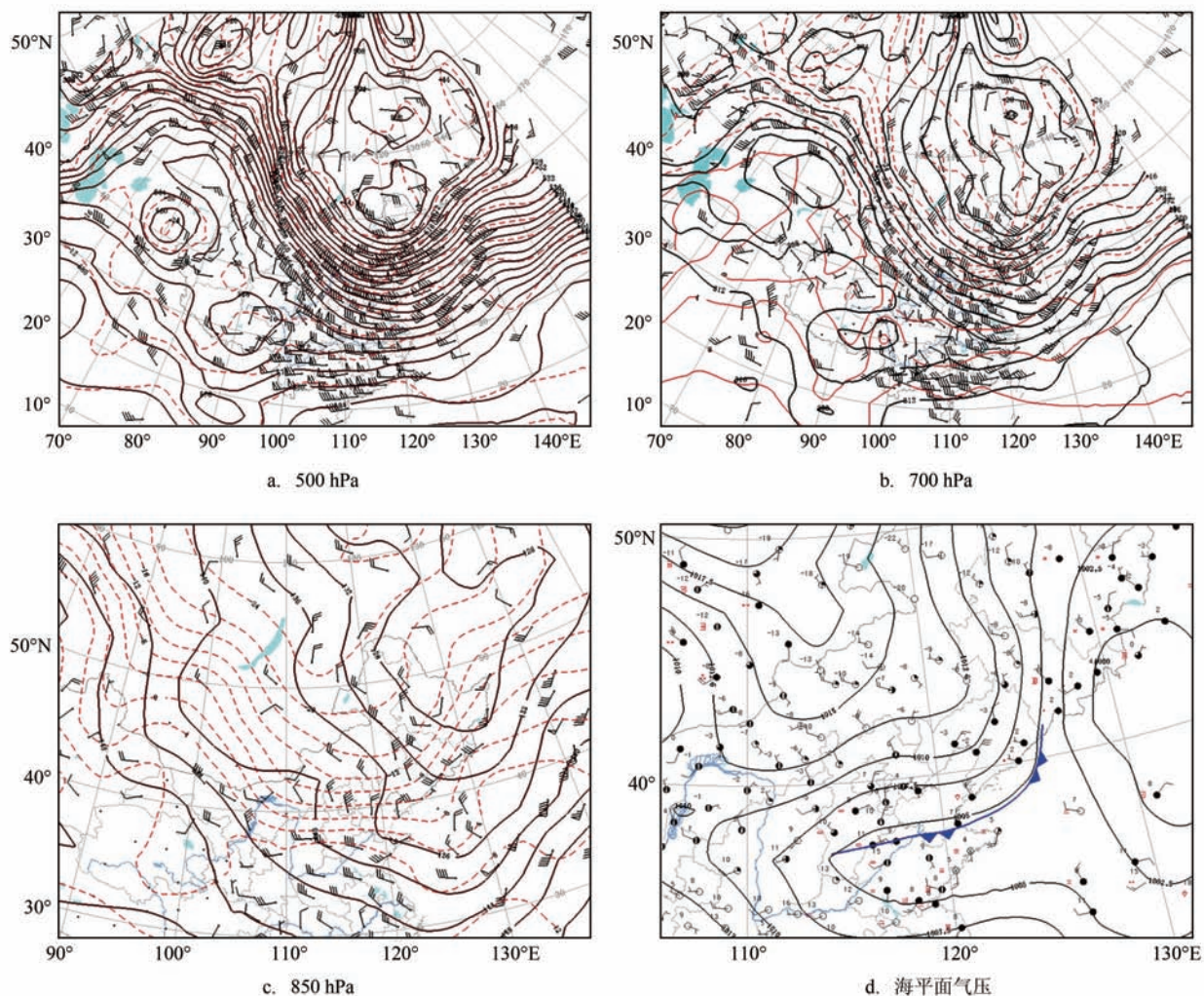


图2 2013年3月18日08时环流形势图

(黑色粗实线:等高线,单位:dgpm,间隔4;红色实线和虚线:等温线,间隔 4°C ;黑色细实线:等压线,间隔2.5 hPa)

强。为了更清楚地分析冷空气的演变过程,基于NCEP再分析资料,对温度平流场进行了诊断分析。这里主要分析边界层温度平流,分别取850 hPa、925 hPa和1 000 hPa 3层等压面的累积温度平流进行分析。17日20时(见图3a)冷空气影响渤海以前,边界层强冷平流位于42°N以北的河套地区东部附近,最强冷平流超过 -0.15 K/s ,此时渤海正处于正温度平流区,暖平流中心强度为 0.1 K/s ,渤海海面风场为弱的偏南风,最大风力 8 m/s 。18日02时(图

略),渤海仍位于正温度平流区,辽东湾暖平流强度增强为 0.15 K/s ,风向仍偏南,风力变化不大。08时(见图3b)冷空气开始影响渤海海面,相应地,最大冷平流中心向南推进到渤海湾附近,强度维持在 -0.15 K/s 以上,此时辽东湾海面转为东北风,最大风速增至 22 m/s ,冷空气前沿刚刚抵达莱州湾。14时(见图3c),山东北部内陆被大范围冷空气控制,冷平流最强区位于鲁西北,超过 -0.3 K/s 。此时,整个渤海区域全部转为东北风,风力在6级以上。20时(见图

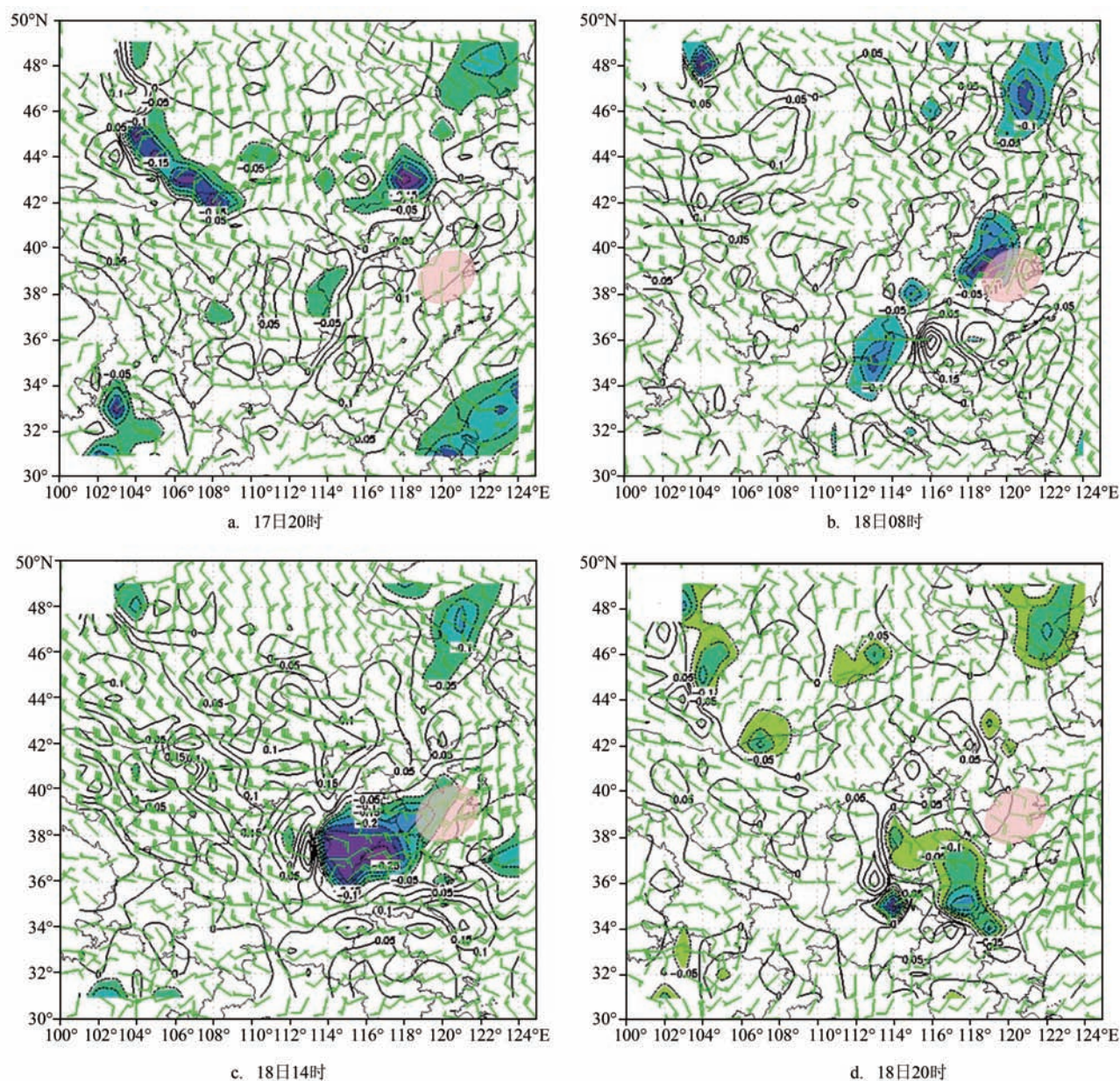


图3 2013年3月17—18日地面风场及850 hPa以下累积温度平流的演变
(红色阴影区为发生沉船事故的海域)

3d),冷平流南移到鲁南及苏北一带,中心强度减弱为 -0.2 K/s ,渤海转为偏东风,风力减弱到 10 m/s 以下。此后,随着冷空气的进一步南下变性,冷平流强度逐渐减弱,过程结束。

4.2 温度平流的垂直演变

为更清楚的分析冷空气的空间演变特征,对风场和温度平流场沿 120°E 作了南北剖面。17日20时(见图4a),700 hPa以上为一个深厚的冷平流区,中心位于 37°N 附近300 hPa高度,最强冷平流强度绝对值超过 0.12 K/s , 43°N 以北550~700 hPa高度附近有弱冷平流。18日02时(见图4b),冷平流大值区位于600~800 hPa高度,中心位于 42°N 附近750 hPa高度,强度增为 -0.16 K/s 。18日08—14时

(见图4c、d),冷平流控制区抵达地面,自上而下形成了冷平流的传输通道^[7](图中黑色粗线所示),近地层转为东北风,此时段为风力最大时段(超过 14 m/s ,最大达 20 m/s)。18日20时,冷平流的传输通道在对流层中层700 hPa左右高度被截断,对应近地面风力骤减,冷空气影响结束。

随着冷空气南下影响渤海,在近地面冷空气南侧的暖区也存在暖平流强度先增后减的过程。17日20时,近地层 $37^\circ\sim 39^\circ\text{N}$ 为暖平流控制区,但中心强度较弱,为 0.02 K/s ,配合有弱的偏西风。18日02—08时,暖平流中心强度不变,范围有所增大,近地层转为较强的偏南风,最大风力超过 20 m/s 。14时,随着冷平流南下, $38^\circ\sim 43^\circ\text{N}$ 附近暖平流减弱消失。前期的暖平流输送使得该区域近地面层维持

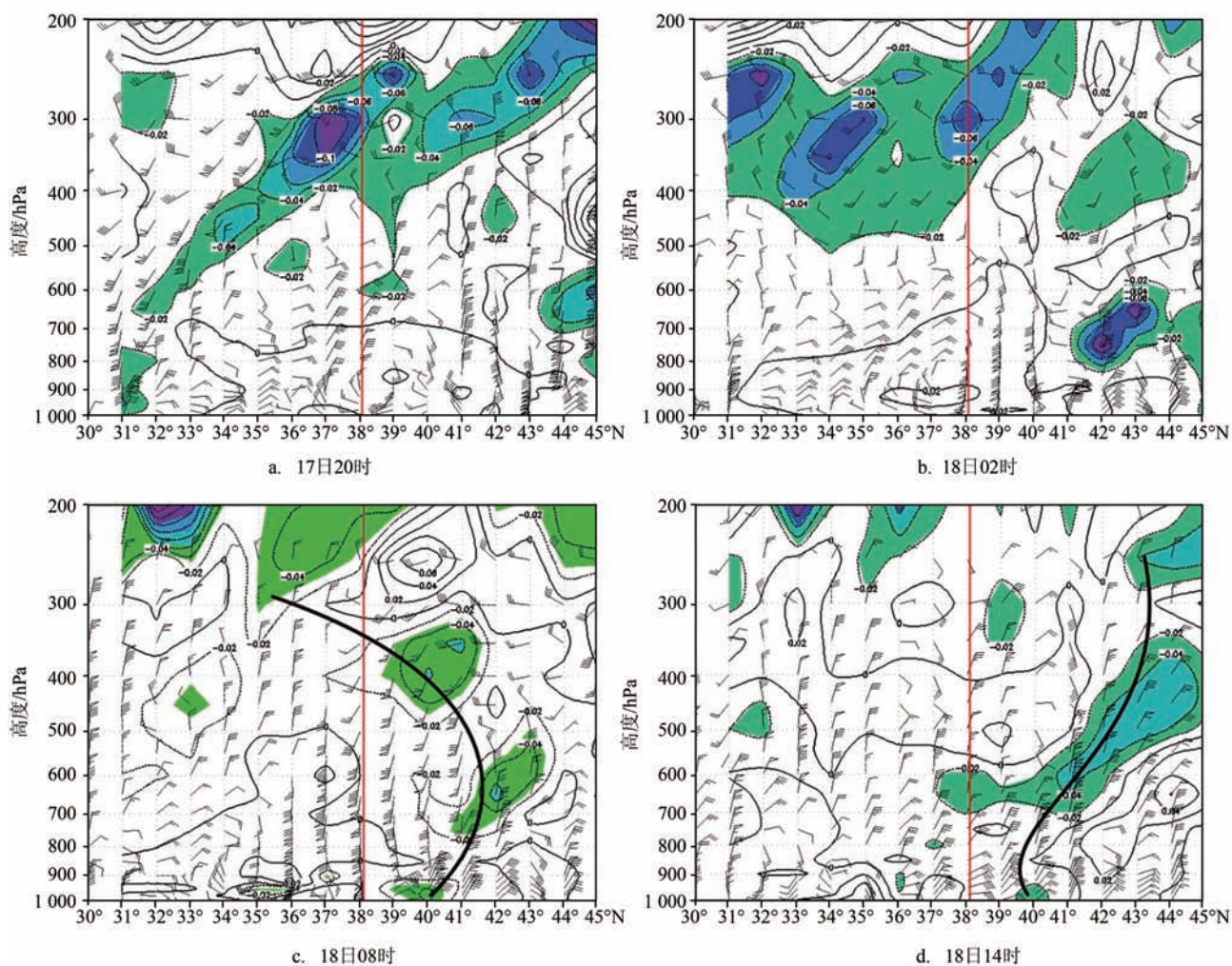


图4 2013年3月17—18日沿 120°E 的水平风场和温度平流垂直剖面图
(红直线为沉船位置的纬度,彩色填充区为冷平流大值区)

较高的气温。因此,当冷空气影响渤海及山东时,冷暖空气的对比加强,从而使低空锋区增强,是强风出现的一个重要因素。

4.3 地面气温和变压场的演变

根据地面测站观测的2 m的气温的演变(图略),冷空气影响之前,山东大部分为偏南风,气温较高。直到18日08时后,在较强的偏南风 and 暖平流影响下,山东仍然维持较高的气温。当冷空气影响时,渤海及山东前期较高的气温使得冷暖空气在该区对比更加强烈,温度梯度加大,气压梯度显著增强。

从地面测站的3 h变压演变发现(图略),随着

冷空气不断南压加强,锋后正变压越来越大。18日02时,冷空气刚开始影响渤海,锋后3 h正变压最大值超过3 hPa。18日08时,渤海湾附近测站的最大3 h变压增加到6.2 hPa。18日14时冷空气南下到山东时,大部分地区出现2.5 hPa以上的正变压,鲁中地区正变压最强,普遍在4.5~5.8 hPa之间。显然,冷空气影响造成地面正变压,变压风的产生是渤海强风产生的另一重要因素。

4.4 变温场的演变

利用NCEP再分析资料计算了冷空气影响过程中6 h变温场演变情况。图5是6h变温场沿120°E的垂直剖面图。可以发现,18日02时以前(见图5a),

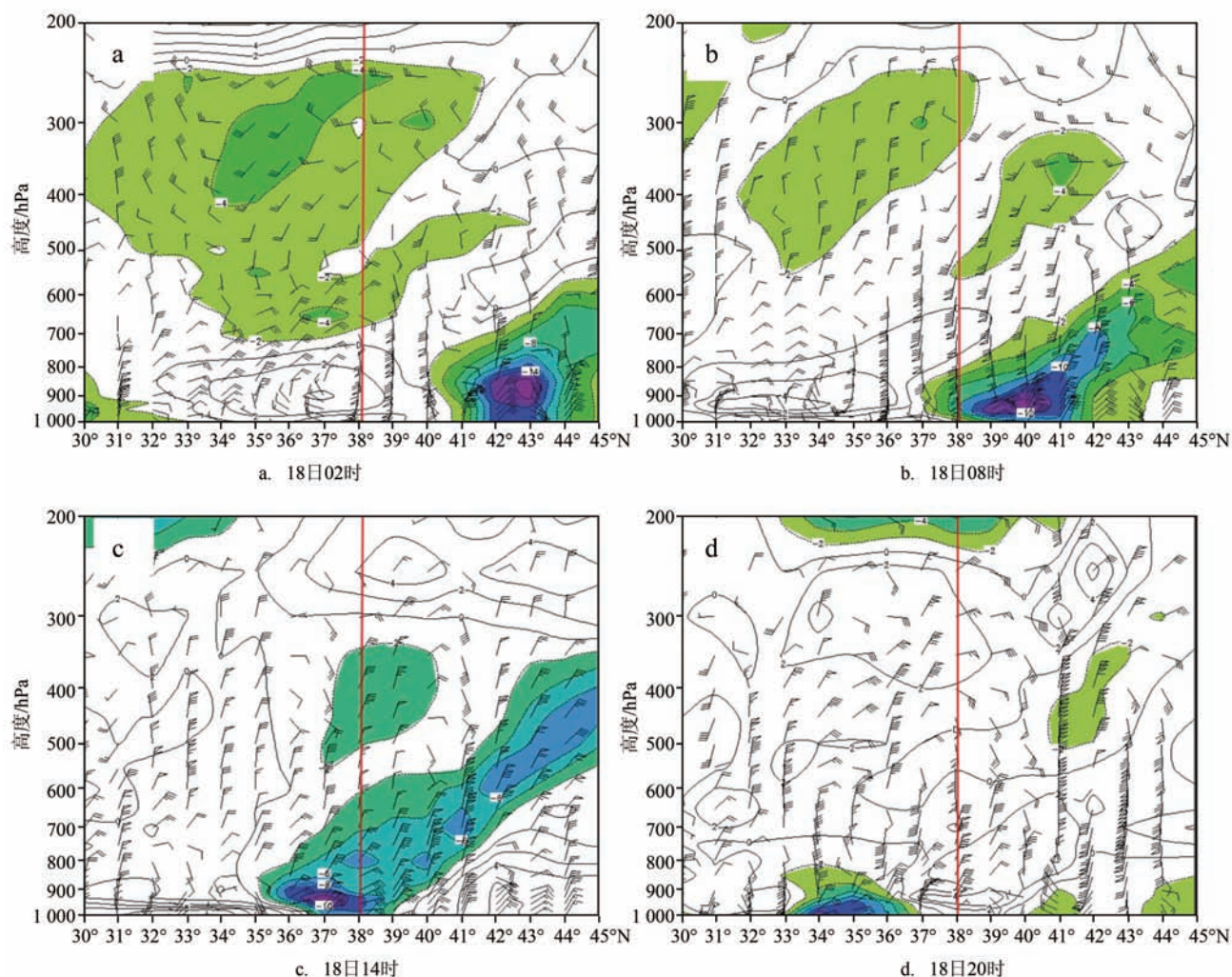


图5 2013年3月18日沿120°E的风场和变温场垂直剖面图
(红直线为沉船位置的纬度,彩色填充区为负变温大值区)

在冷锋影响区域,即 40°N 以北,自地面至600 hPa高度,均有较明显的负变温,最大负变温超过 -16°C ,位于800~900 hPa,结合高空天气形势的演变可知,冷空气已经沿低涡后部滑下,造成中低层降温。同时,在 $34^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ 附近的山东内陆地区900 hPa以下到地面层升温明显,6 h最大升温幅度超过 4°C 。08时(见图5b),冷锋附近负变温主要位于700 hPa以下,最大负变温中心位于 40°N 上空900 hPa以下,最大负变温超过 -14°C 。这表明,冷空气主力位于700 hPa以下,其中900 hPa以下的冷空气最强。此时整个渤海位于正变压区。而在 38°N 附近海平面上各层存在较强的偏南风,致使该区域800 hPa以上有正变温, 37°N 以南近地面为正变温区,最大正变温超过 4°C 。此时,影响渤海的强风开始出现,

势力不断增大。14时(见图5c),冷空气影响渤海,900 hPa负变温中心南移到 37°N ,强度为 -12°C 。20时(见图5d),冷空气继续南压,负变温中心位于 34°N ,高度降至1000 hPa以下的近地面,强度减弱为 -10°C ,渤海出现正变温,冷空气影响趋于结束。整个过程冷平流最强的时段为08—14时,正好对应海面风力最强的时段。

由此可见,中低层冷空气主力由北向南迅速传播,在影响渤海时,冷暖空气对比增强了锋区强度,造成了强风。

4.5 垂直运动场分析

本次大风过程具有历时短、风力大的特点,对冷空气影响过程中的风场和垂直运动场沿 120°E 进

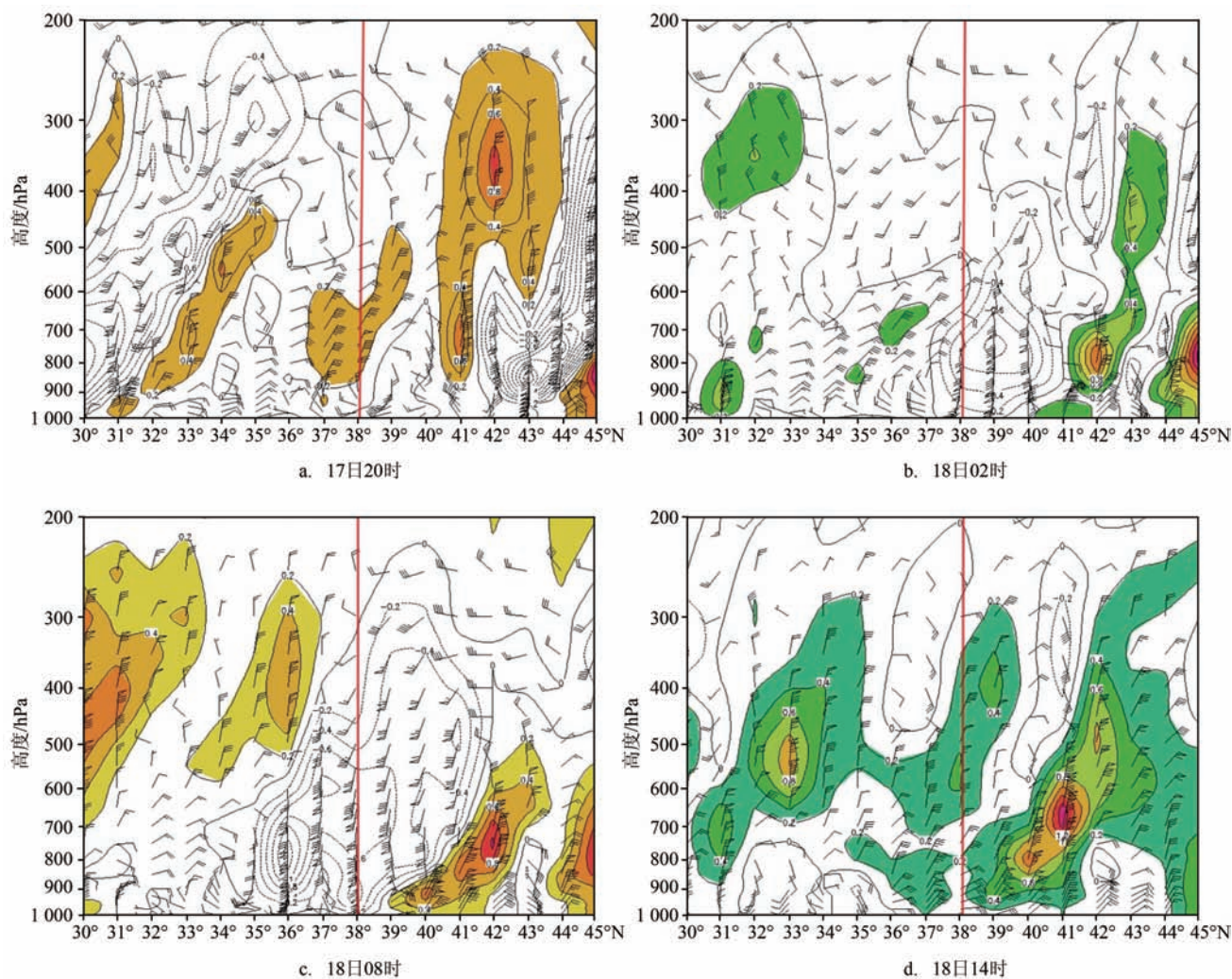


图6 2013年3月17—18日沿 120°E 的水平风场和垂直速度场剖面图
(红直线为沉船位置的纬度,彩色填充区为下沉运动大值区)

行南北剖面分析,考察动量下传的情况。可以发现,17日20时(见图6a),冷空气到达渤海前,锋后 42°N 以北,从近地面到300 hPa附近为明显的上升运动区,中心位于800~900 hPa之间,强度达到 -1.8 Pa/s ,而渤海附近的下沉运动极弱,接近于0 Pa/s。18日02时(见图6b),上升运动区减弱南移到渤海上空, 41°N 已经转为下沉运动,主要位于600 hPa以下,中心值为 1.0 Pa/s ,下沉运动区边界层风速由之前的 8 m/s 增至 12 m/s 以上。08时(见图6c),下沉运动区向南推进,主力位于500 hPa以下,中心强度仍为 1.0 Pa/s ,中心位于850 hPa高度附近,底部向南伸展到 39°N ,对应此时地面东北风最大风力增强至 22 m/s 以上。14时(见图6d),下沉运动范围继续增大,下沉运动区在低层覆盖了整个渤海和山东北部区域,向高层延伸至400 hPa以上,最强达 1.4 Pa/s ,中心位于700 hPa高度附近,地面风力略微减弱到 18 m/s 。20时(图略),下沉运动大值区范围迅速减小,此次过程基本结束。结合天气形势分析,强烈的下沉运动很可能是由于冷锋过境时引发的次级环流导致,大气质量的快速调整使得暖空气迅速被冷空气所取代,造成强烈的动量下传,从而引发了海面强风。

5 结论

本文应用国家自动气象观测站资料、常规观测资料和NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 气候预测系统再分析资料,分析了2013年3月18日发生在渤海海域的一次强风天气过程,从温度平流、变压场和变温场的演变及垂直运动场等方面剖析了强风发生发展的过程,结论如下:

(1)此次渤海海难强风过程是一次冷锋影响下的偏北大风,强风区主要位于渤海海面,而陆地测站监测到的风力较弱,具有历时短,过程进展迅速

的特点,瞬时风力较大;

(2)在经向环流背景下,北路冷空气自高纬南下,与冷空气相伴随的强冷平流自上而下传播,气压梯度显著增强,造成地面正变压,导致变压风的产生,是强风出现的重要原因;

(3)冷空气影响前,渤海及山东前期为暖平流控制,较高的气温使得冷暖空气在该区对比更加强烈,造成低空锋区加强,是造成强风一个重要因素。可见在偏北大风的预报过程中,不但要关注冷平流的强度演变,而且要考察冷空气影响前,暖平流的发展程度;

(4)冷锋过境时引发了锋面次级环流,导致了强烈的下沉运动,引起动量下传,是造成瞬时强烈阵风的重要原因。

参考文献:

- [1] 尹尽勇, 刘涛, 张增海, 等. 冬季黄渤海大风天气与渔船风损统计分析[J]. 气象, 2009, 35(6): 90-95.
- [2] 吴曼丽, 陈宇, 王瀛, 等. 黄渤海北部沿海大风时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(6): 65-71.
- [3] 李超, 魏建苏, 严文莲, 等. 江苏沿海大风特征及其变化分析[J]. 气象科学, 2013, 33(5): 584-589.
- [4] 杨晓霞, 盛春岩, 沈建国, 等. 山东沿海偏北大风的天气学模型和物理量特征[J]. 海洋预报, 2014, 31(3): 45-55.
- [5] 王雷. 一次冷空气强风的成因分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(4): 96-101.
- [6] 项素清, 邱洪芳, 林伟. 2004年末浙北沿海10~12级冷空气大风过程诊断分析[J]. 海洋预报, 2006, 23(S): 79-83.
- [7] 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.
- [8] 吴海英, 孙燕, 曾明剑, 等. 冷空气引发江苏近海强风形成和发展的物理过程探讨[J]. 热带气象学报, 2007, 23(4): 388-394.
- [9] 盛春岩, 杨晓霞. “09. 4. 15”渤海和山东强风过程的动力学诊断分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 266-273.
- [10] 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.

Analysis of the causes of the march 18, 2013 gale process over the Bohai sea

SUN Qing^{1,2}, SHENG Chun-yan³, LIU Chang⁴, FAN Su-dan³

(1. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093 China; 2. Shandong Meteorological Service, Jinan 250031 China; 3. Shandong Provincial Meteorological Institute, Jinan 250031 China; 4. Shandong Provincial Meteorological Observatory, Jinan 250031 China)

Abstract: By using automatic meteorological observation station data, conventional observation data and NECP data with $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ resolution, a gale process occurred on March 18th, 2013 in Bohai Sea and the causes of the gale are analyzed. The results show that the gale is caused by the cold front. During the process of gale, a transmission path for the cold advection from top to bottom is formed, and the cold air is transported into the low level rapidly which leads to strong cold advection near surface. The allobaric wind caused by severe pressure swing is another important reason for gale accompanied by the coming of cold air mass. Besides, the intensity of cold front which leads to gale, is strengthened by increasing temperature occurring before the arrival of cold front. The downward momentum transportation resulting from the secondary circulation crossing the cold front also play an important role in the instantaneous strong gust.

Key words: cold front; momentum-transport; allobaric wind; secondary circulation