

渤海中南部突发性大风成因分析及预报思考

孙晓磊¹, 黄彬², 易笑园³, 刘彬贤¹, 苏杭¹, 林晓萌³

(1.天津海洋中心气象台,天津 300074; 2.中国气象局国家气象中心,北京 100081;
3.天津市气象台,天津 300074)

摘 要:利用常规资料、自动气象站、风廓线、ERA Interim $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析资料、EC-thin 和 TJ-wrf 模式结果,对2017年11月23日夜间渤海突发性大风成因进行了诊断分析,并探讨短期时效的预报失败原因及订正思路。研究表明:(1)高空动量下传是风速快速增长的原因,较强的高层动量下传及风速垂直切变明显增强了近地层风速的突发性和对流性;(2)大风过程冷平流强度的增强直接造成地面增压,前期增温使冷锋过境时锋区强度加大地面气压梯度加强,风速变化与最大变压梯度对应,大风区位于正变压梯度中心;(3)由于前期增温导致补充冷空气过境前层结不稳定伴有上升运动,有利于空气的垂直能量交换;(4)数值模式因对地面高压强度及移速的预报偏差,导致模式对于渤海23日风场预报大幅度偏弱。

关键词:补充冷空气;突发性大风;动量下传;风廓线;变压场;预报订正

中图分类号:P732.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2018)04-0047-11

1 引言

渤海大风是环渤海地区的灾害性天气之一,海上大风天气的研究已有一些成果,一些专家学者从天气学和气候统计分析方法揭示了我国黄渤海大风季节分布特征和影响系统^[1-10],冬季多为冷空气大风,冷空气路径不同,渤海的最大风速风向也不同。一些专家通过诊断分析和数值模拟对渤海大风天气特别是易造成海上灾害的偏北大风环流特征和物理机制进行了大量的研究^[11-14],揭示了冷锋影响下的偏北大风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,低层大气强烈的冷平流和下沉运动使高空动量下传,位能转化为动能是强风产生的另一重要原因。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;数值模拟证实海洋下垫

面较光滑,会对海上大风起到增强作用,引起“向岸风”效应。海面对大风的增强作用在渤海北部约2~3 m/s,渤海南部约3~5 m/s,渤海海洋下垫面对大风的增强作用大于渤海北部地形动力作用。另外一些学者从冷空气和气旋相互作用探讨了海上大风成因^[15-27],研究表明:斜压性对于气旋发生发展起着重要作用,斜压性有利于有效位能的释放、动能制造及气旋加强;气旋始终位于Q矢量散度梯度最大区域,有利的动力和热力条件使得能量积累,促使气旋前期发展、后期维持,但对于补充冷空气诱发副冷峰造成渤海突发性大风的研究很少,造成的预报失败原因分析更少。

2017年11月23日夜间渤海湾和渤海中南部海域出现了突发性强风天气,根据渤海海上A平台自动站记载,11月23日20时(北京时,下同)平均风力(本文均采用2 min平均风,下同)由10.4 m/s(5级)突然增大到19.3 m/s(8级),极大风由14.4 m/s(7级)

收稿日期:2018-03-11;修回日期:2018-05-12。

基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2016-004);天津市应用基础与前沿技术研究计划(青年项目)(16JQNJC07500);环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201712)。

作者简介:孙晓磊(1983-),女,工程师,硕士,主要从事海洋气象预报、中尺度灾害性天气预报研究。E-mail:157168218@qq.com

通讯作者:刘彬贤(1974-),男,高级工程师,本科,主要从事海洋气象预报、中短期预报研究。E-mail:379356841@qq.com

突增到 21.8 m/s(9级),之后风力持续增大,最大平均风速 21.3 m/s(9级)、最大极大风 26.4 m/s(10级),大风维持 6 h,于 24 日 02 时以后逐渐减小到 12 m/s,此次过程风速突发性强,持续时间短。在 23 日大风发生前,850 hPa 的 24 h 降温并不显著,甚至 12 h 内还在升温,究竟是什么原因造成了此次强风过程?又是什么原因导致风力等级远超过前一日主冷锋过境时引起的大风?以上两个问题都是本文研究的重点,本文利用常规资料、自动气象站、风廓线、ERA Interim $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析资料、EC-thin 和 TJ-wrf 模式结果,对 2017 年 11 月 23 日夜间补充冷空气造成的渤海大风成因进行了诊断分析,并探讨此次大风天气在短期时效的预报失败原因及订正思路。

2 海上强风特征

2017 年 11 月 22 日夜间受主冷锋影响,渤海海域在 22 日晚 21 时平均风达到最强为 16.5 m/s(7 级)、阵风 20.5 m/s(8 级),而 23 日夜间受副冷锋影响,在 24 日 00 时平均风达到最强 21.3 m/s(9 级)、阵风 26.4 m/s(10 级),补充冷空气诱发副冷锋造成的大风强度远远超出 22 日主冷锋过境时大风强度,导致短期预报出现了较大偏差,成为一次典型漏报过程。

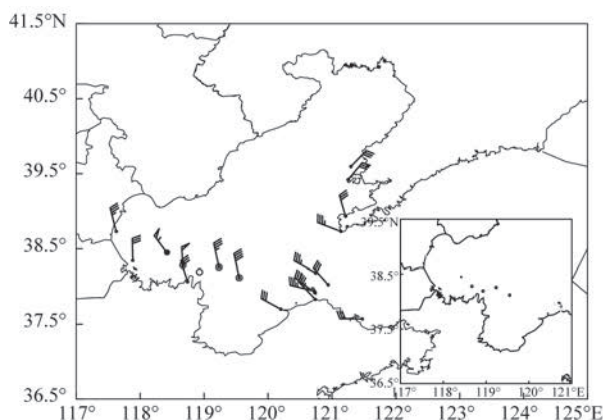
从渤海周围站点风速分布看出(见图 1a),23 日夜间大风集中出现在渤海中南部海域,平均风速均达到了 8 级以上,本文以渤海 A 平台代表渤海海域

大风变化,从图 1b 可以看出,此次过程渤海大风具有风速增长快、突发性强、持续时间短的特点,副冷锋影响下(23 日夜间)的大风强度远超过前一天(22 日夜间)。大风出现前后,风速有迅速增加的现象称为大风的突增。根据渤海 A 平台站记录,23 日 20—21 时风速从 10.4 m/s 增加到 19.3 m/s,冷锋到达后短短 1 个小时内增幅达到 8.9 m/s,风速突增较明显。随着冷空气影响结束 24 日 02 时后风速快速下降,此次大风天气结束。

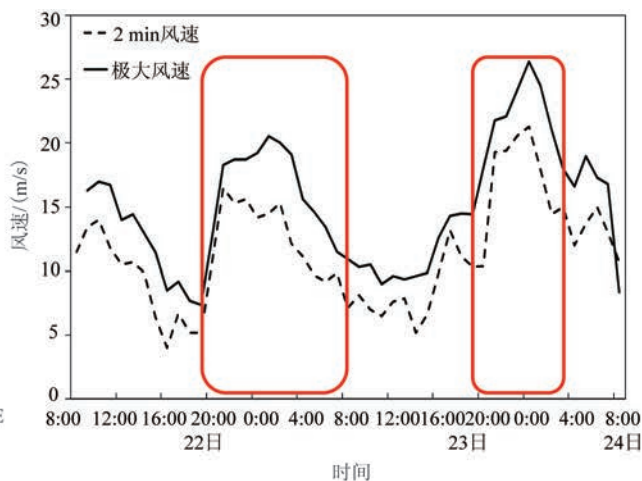
3 天气形势分析

主冷锋过境前,2017 年 11 月 22 日 08 时 500 hPa 贝加尔湖附近出现 -48°C 闭合冷空气中心,冷空气在贝加尔湖堆积,位势高度场上自东北经蒙古至新疆以北为一东北西南向横槽,随着乌拉尔山高压脊加深北抬(见图 2a),冷中心强度加强至 -52°C ,西北气流引导冷空气南压促使横槽转竖,槽底部在 20 时前后经过渤海。850 hPa 京津冀一带上空为一致的西北风,20 时张家口风速达 14 m/s 和北京站为 16 m/s,风场与温度场夹角接近 45° 表明冷空气向南输送,22 日 20 时开始 A 平台平均风超过 10.9 m/s(6 级)。

副冷锋过境前 12 h,即 2017 年 11 月 23 日 08 时贝加尔湖附近 500 hPa 冷空气中心消失,东北至北京一带形成一个弱浅槽,张家口站 850 hPa 西南风 10 m/s,北京站为西北风 12 m/s 均较 22 日风速明显



a. 2017年11月23日20时—24日08时6级以上大风分布图



b. 渤海平台A站点风速时序图(红色框线为两次大风过程)

图1 2017年11月23—24日夜间渤海中南部大风实况

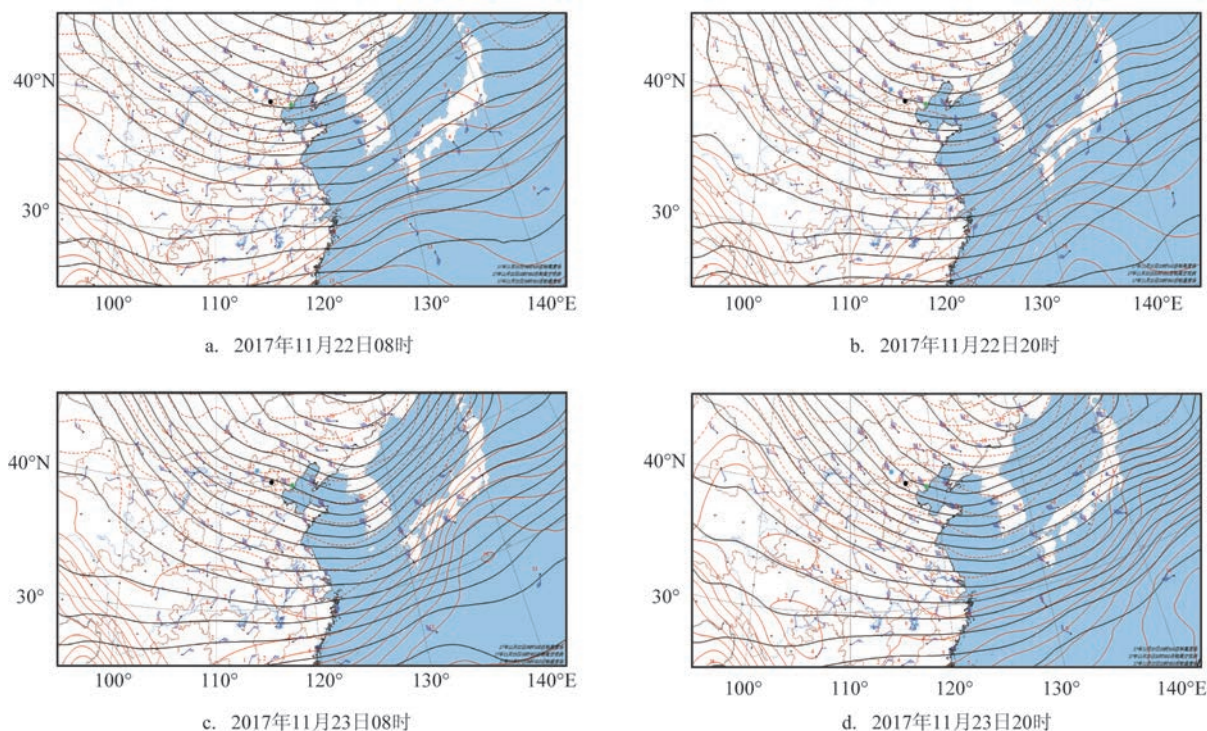


图2 500 hPa 高度场(黑色)、850 hPa 温度场(红色)和风场
(蓝色圆点:张家口探空站;黑色圆点:北京探空站;绿色圆点:乐亭探空站)

减小,风向与温度场平行,说明冷空气主体已经过境,23日20时850 hPa风向再次与温度场形成 45° 夹角,石家庄站风速增至18 m/s,北京站风速12 m/s,形成风速辐合区,表明23日20时上游冷平流输送再次加强,21时A平台风速跃增至19.3 m/s。

4 强风产生原因分析

产生地面大风的原因主要有动量下传、冷平流作用、气压梯度、变压梯度、斜压不稳定大气位能向动能的转换、非地转风的作用等等^[24-26]。

4.1 动量下传分析

动量下传是引起地面风速增大的原因之一,要实现高空动量下传,一般应具备两个条件:(1)高低空风速垂直切变要大;(2)要有一定的下沉速度^[23]。

分析风场垂直分布时序变化特征发现(见图3),22日20时500 hPa风速为40 m/s,23日02时风速减小至34 m/s,低层925 hPa风速从8 m/s增大至13 m/s,高低层间风速切变最大达30 m/s。23日14

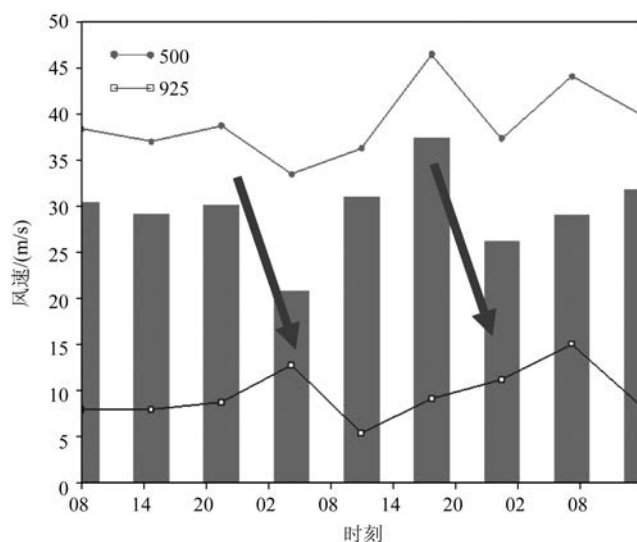


图3 2017年11月22—24日A平台上空500 hPa与925 hPa风速(等值线)及风速切变(柱状图)时序图

时大风发生前500 hPa风速达到最大值,风速超过45 m/s,20时风速减小至35 m/s,500 hPa风速减小后925 hPa对应时刻风速从9 m/s增大到15 m/s,同一时刻500 hPa与925 hPa之间的垂直风速差接近

40 m/s。由此可见,渤海上空存在明显的高空动量向低层下传现象。

从天气学分析知识我们知道,用加密观测的气球探空测风资料可以分析锋面、槽线等过境天气^[19]。图4是2017年11月22日和2017年11月23日风廓线雷达探测到的天津西青地区500~5 500 m高度的风垂直剖面逐小时连续变化图。纵坐标表示高度,横坐标表示时间(从右至左表示时间逐1 h增加)。西青站位于渤海A平台西北侧上游,可以阐明西北路径冷空气影响渤海前的高低空风场变化。22

日和23日两次大风过程发生前在高空3 000 m之上均存在20 m/s以上的强风,随着冷空气向低层传播,3 000 m以下风速增速在5~12 m/s,表明高层动量在向下传播。这是两次大风过程中的共性特征,但风场的垂直分布存在较大区别。22日(见图4a)高层强风集中在5 000 m,最大风速20 m/s,23日(见图4b)高层强风高度在5 500 m,最大风速达到48 m/s。大风发生期间(图5红色线区域标注的是地面大风持续时段),22日500~3 000 m之间最大风速为14 m/s,23日500~3 000 m之间最大风速达到20 m/s。

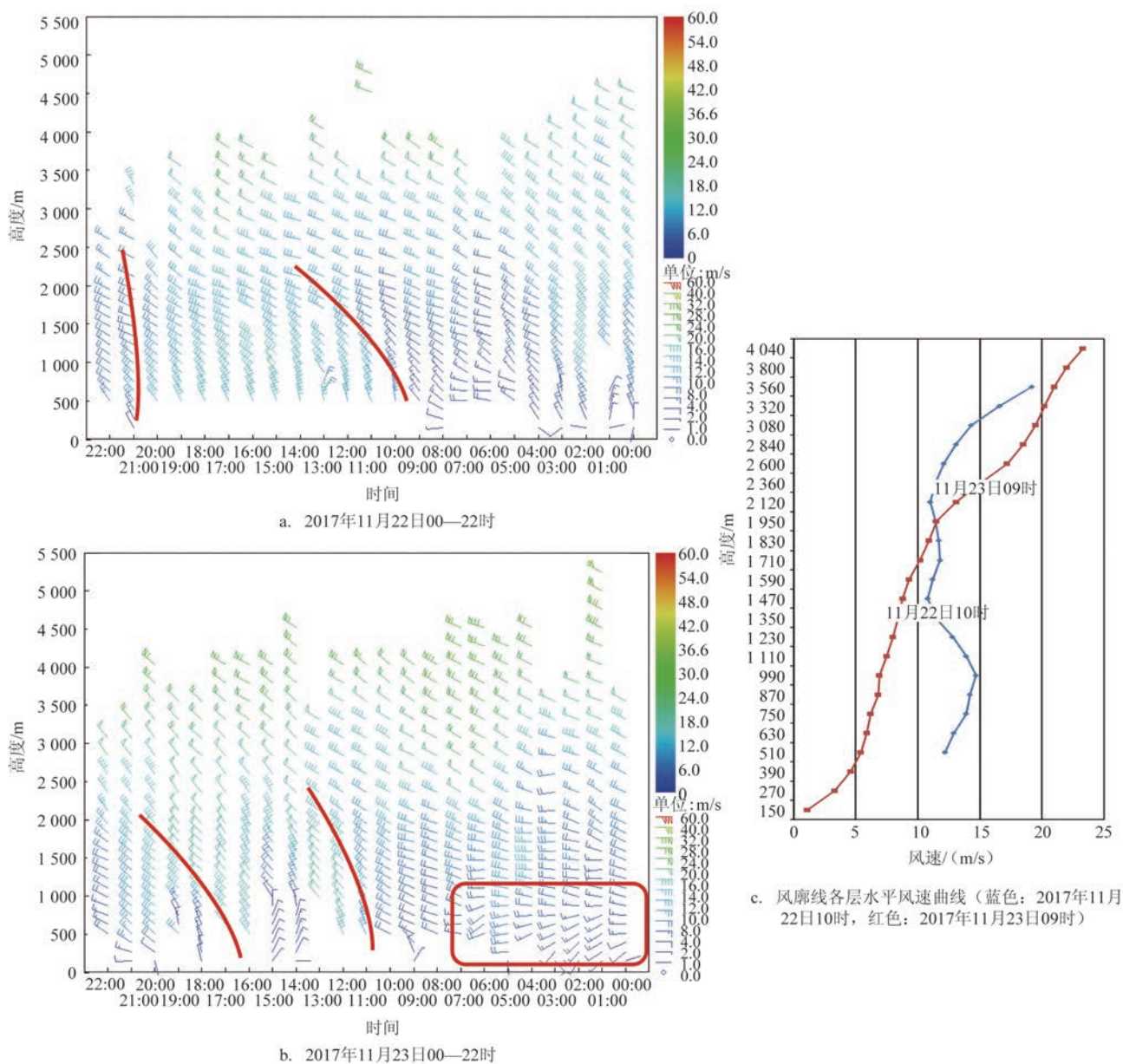
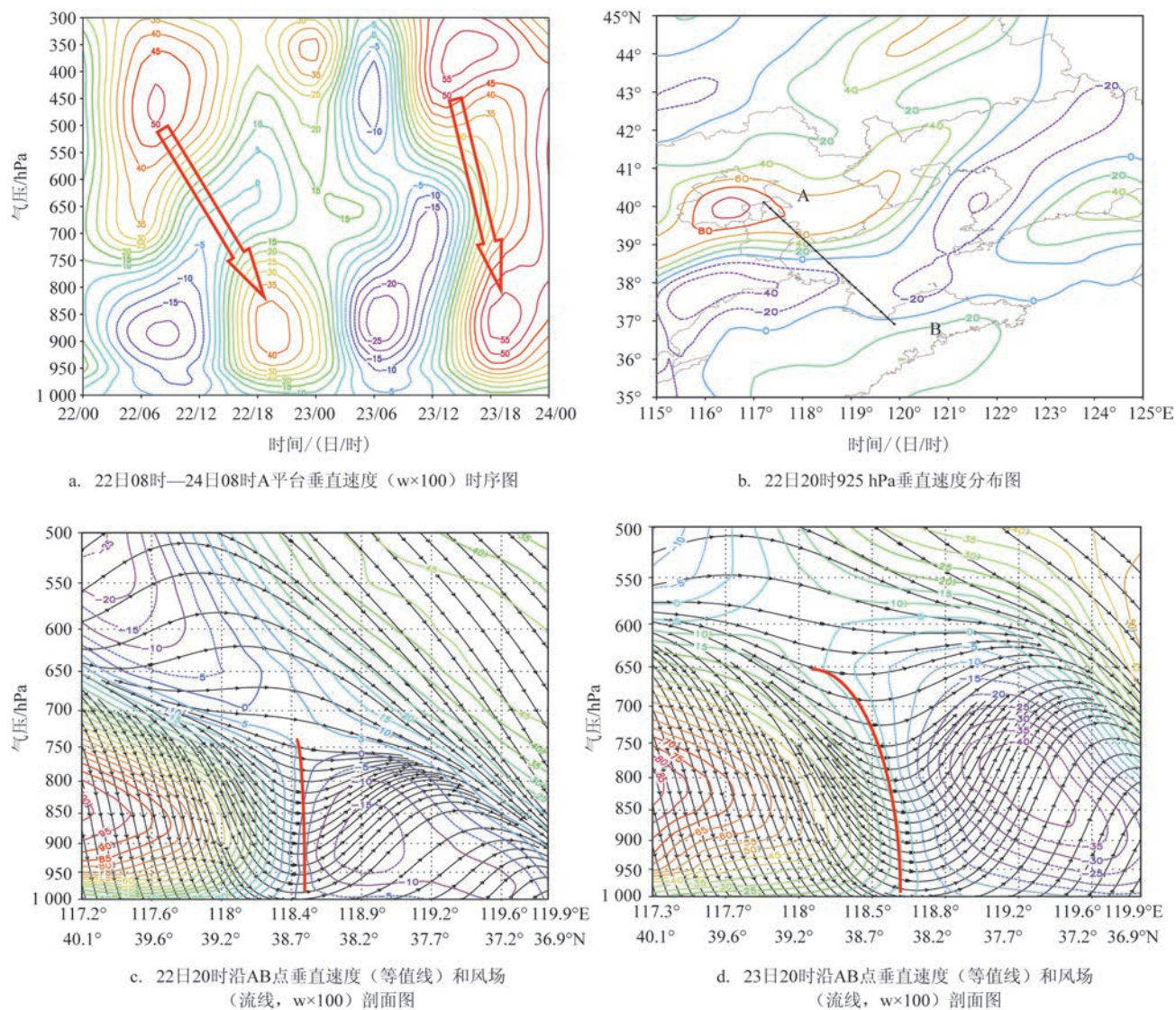


图4 天津西青站风场逐小时垂直剖面图(时间为世界时)

图5 垂直速度时序图及剖面图(单位: 10^{-2} Pa/s)

西青位于A平台上游,选取22日和23日起风前2~3 h时刻的垂直风速曲线进行对比分析(见图4c),22日18时510 m风速为12.2 m/s,3 560 m是该时刻探测到的最高高度,风速为19.2 m/s,500~4 000 m间垂直风速切变为7 m/s,23日17时510 m风速为5.4 m/s,4 040 m是该时刻探测到的最高高度,风速为23.3 m/s,3 560 m风速为21 m/s,500~4 000 m间垂直风速切变达到了17.9 m/s。

综上可见,23日高层强风所在高度比22日高层风速更大,冷锋过境时23日垂直风速切变更强。

分析A平台上空垂直速度的演变(见图5a)来进一步分析动量下传的情况,可以发现,22日和23

日两次过程中在冷空气主体过境前渤海海域有微弱的上升运动,23日天气系统从1 000 hPa延伸至300 hPa更深厚。冷空气进入渤海后,海域上空即转为下沉运动:22日14时位于450 hPa附近 50×10^{-2} Pa/s的下沉运动中心经过12 h后下降至850 hPa附近,中心强度 40×10^{-2} Pa/s,23日20时位于300 hPa的下沉运动中心仅经过6 h就降至850 hPa附近,中心强度始终维持在 55×10^{-2} Pa/s。沿冷空气移动路径AB(见图5b)对垂直速度做剖面,冷空气主要从700 hPa以下自西北向东南方向侵入渤海海域,23日锋前上升运动为 -40×10^{-2} Pa/s比22日锋前上升运动更强(-15×10^{-2} Pa/s),较强的上升运动有利于

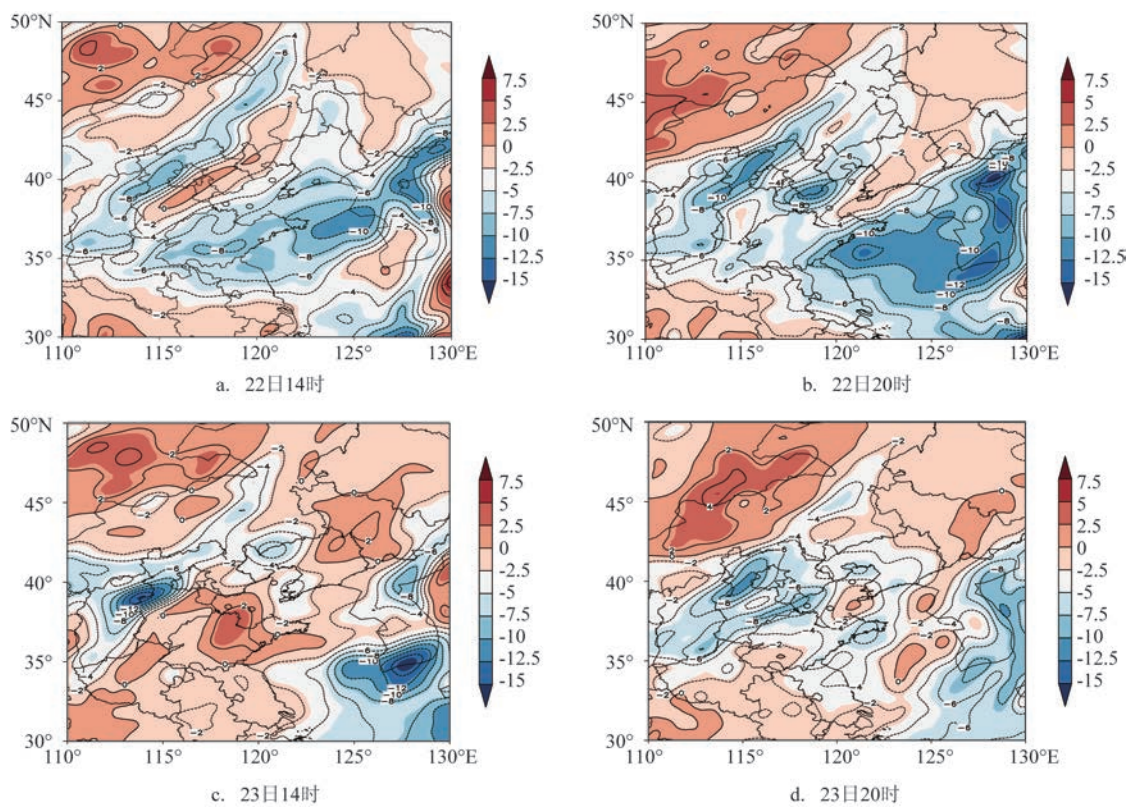


图6 1000~700 hPa 累积温度平流分布图(单位: 10^{-4} K)

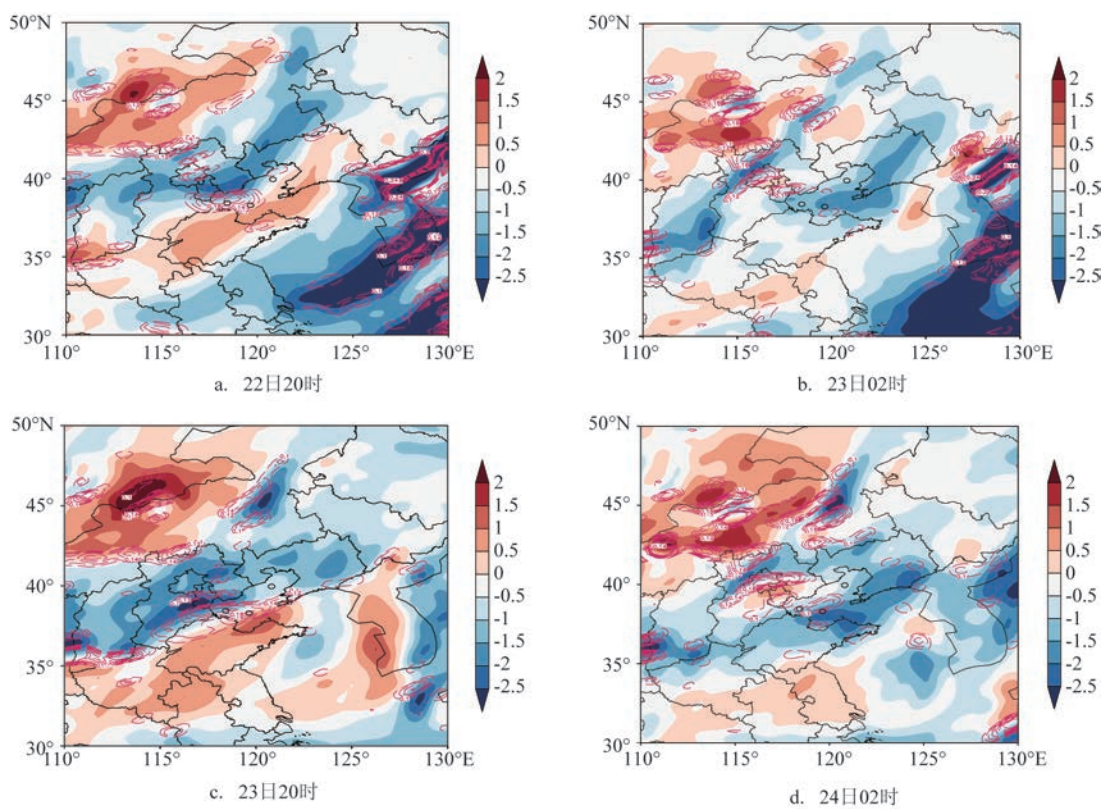


图7 850 hPa 温度平流(阴影,单位: 10^{-4} K)和温度平流梯度(红色虚线)分布图

空气的垂直能量交换,冷锋移入后,锋后的下沉运动快速地将高层动量向低层输送,由于23日高空动量在短时间内快速向低层传播,A平台风速1 h内从10.4 m/s跃升至19.3 m/s,过程最大阵风达到26.4 m/s(见图1b),平均风速和极大风速都远超过22日。高空大风速核的快速下降、锋前较强的上升运动以及冷空气过境时引发次级环流形成的强烈下沉运动,是引发动量下传从而形成23日强风的重要因素。

4.2 温度平流演变

为了更清楚分析23日大风发生前850 hPa升温原因及强风发生时低层冷平流的演变特征,本文计算了1 000~700 hPa累积温度平流和850 hPa温度平流、温度平流梯度,分析温度平流场与大风之间的演变情况。由图7可以看出,22日14时渤海海面受冷平流控制,平流强度为 -6×10^{-4} K,天津地区为相对暖区,上游北京河北一带有 -8×10^{-4} K冷平流向东南输送,20时冷平流前锋 -10×10^{-4} K到达渤海,850 hPa温度平流为 -2×10^{-4} K,平流梯度0.18,渤海风力增大,于23日06时,冷空气主体过境,冷平流减弱风速降至9.7 m/s。23日14时渤海海面及河北南部、山东地区受暖平流控制,平流强度为 2×10^{-4} K,地面转为偏南风位于上游河北中部的 -14×10^{-4} K冷平流中心向东南偏东方向输送,在20时 -8×10^{-4} K的冷平流前锋到达渤海。虽然累积平流到达渤海时冷平流略弱,但20时850 hPa温度平流为 -2.5×10^{-4} K,平流梯度0.24(见图7a、c)均高于

22日,表明23日低层的温度平流增强,促使23日夜间850 hPa负变温强于22日负变温(见图9b),温度平流梯度大值的落区位置与实况大风的分布对应一致。

由于22日冷空气主体过境后,海面受暖平流控制气温回升较明显,促进地面气压下降,当23日副冷锋有发的冷空气影响该区域时一方面冷暖空气对峙加强使低空锋区加强,另一方面低空850 hPa冷平流强度的增强造成地面增压,使地面气压快速升高形成较大的变压梯度为强风出现提供了条件。

4.3 变压场的作用分析

从图8变压时序图看到,22日20时A平台监测到1.3 hPa正变压,21时平均风速从10.9 m/s升至16.5 m/s,23日20时A平台3 h变压2.2 hPa,平均风速从20时10.4 m/s到21时1 h内跃升至19.3 m/s,极大风速达到26.4 m/s。这主要是由于冷空气活动造成的气压升高,使得冷性高压前部气压梯度增大。变压场分布图上(图略)冷空气移入渤海海域后23日21时最大地面3 h变压3.2 hPa中心位于天津南部地区,比22日2.5 hPa变压中心强度更强,根据变压风公式 $D_1 = -\frac{1}{f^2 \rho} \nabla \frac{\partial p}{\partial t}$,变压风沿变压梯度方向吹^[28],因此形成强烈的西北大风。23日变压高于22日的主要原因是由于23日08—14时渤海中南部的正温度平流输送,渤海海域850 hPa 6 h正变温达1℃,且风廓线雷达监测也显示(见图4b)23日16时前,低层1

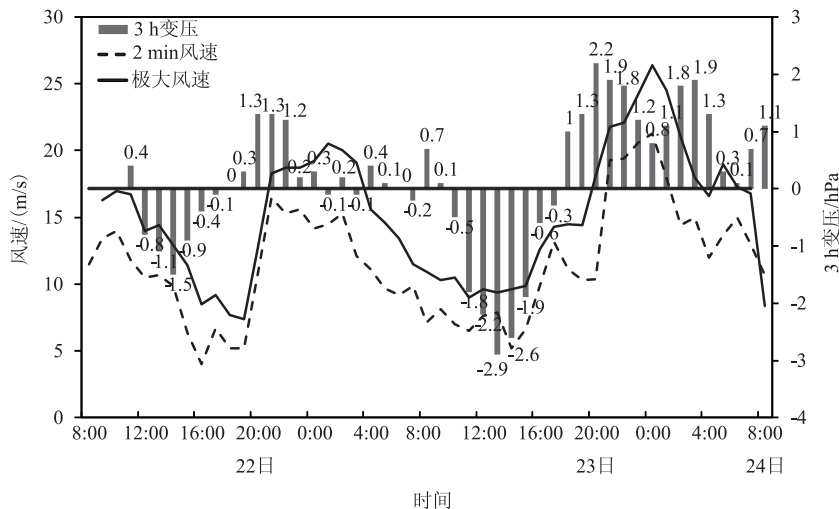


图8 2017年11月22日11时—24日08时A平台单站3 h变压时序图

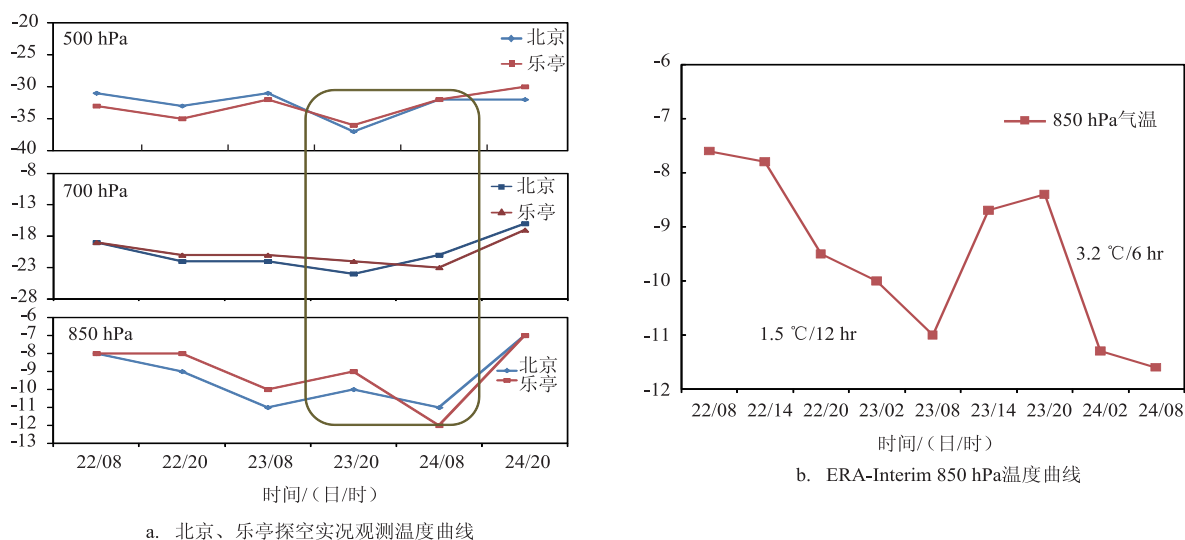


图9 500、700、850 hPa温度(单位:℃)变化曲线

000 m以下以西南风为主导,有利于将暖平流向东北方向输送。暖平流区会使等压面升高,由于温压场不平衡,在气压梯度力作用下,高层产生水平辐散,为保持质量连续,将产生补偿上升运动,导致地面气压下降。在暖平流作用下23日08时后地面负变压越来越大,在14时达到最大-2.9 hPa,当冷空气移入后由于850 hPa较强冷平流的作用,地面气压增大,变压梯度随之增强。

4.4 层结条件分析

选取冷空气移动路径上游的北京和乐亭探空站分析大风发生前的大气垂直层结状态(见图3a),22日夜间大风发生前,08时至20时北京和乐亭站测得500 hPa、700 hPa气温下降5℃,北京探空850 hPa气温下降了2℃,乐亭站较北京站位置偏东由于冷空气还未到达因此850 hPa气温没有下降。23日夜间大风发生前,08—20时北京和乐亭站测得500 hPa从-30℃下降至-36℃,降温幅度达到6℃、700 hPa气温下降4℃,850 hPa气温从-11℃上升至-8.4℃,进一步印证了4.2中对23日白天暖平流作用的分析,由于这段时间内低层暖平流增强导致高空低层至近地面气温回升,低层升温高层降温的层结配置表明23日大风发生前期大气层结存在不稳定,有利于空气的垂直能量交换。

22日和23日夜间的大风过程,冷空气诱发强风

的时段均集中在夜间,利用ERA interim数据补充分析两次过程20—08时期间的冷空气作用(见图3b),22日20时850 hPa气温从-7.8℃下降至23日08时最低气温-11℃,12 h降温1.5℃,23日20时850 hPa气温从-8.4℃下降至24日08时最低气温-11.6℃,12 h降温3.2℃,其中20—02时降温幅度达到2.9℃,说明补充冷空气在快速南下,使气温在短时间内迅速下降导致低层冷平流加强地面快速升压。

因此,23日大风发生前期不稳定大气层结为空气能量垂直交换提供了有利条件,冷空气快速南下使23日20时—24日02时850 hPa气温短时间内迅速下降是导致强风发生的另一重要因素。

5 预报失误原因和讨论

此次过程各家数值模式(EC-thin模式、TJ-WRF模式)在距实况96 h时效内预报渤海中南部风力达到7~8级,但是越临近实况预报的风力等级不断向偏小方向调整。数值预报产品的定量应用,主要通过统计解释来实现,但大气运动既有确定性的一面,又有随机性的一面。数值预报本身主要是以确定性的大气动力学为基础的,而大气运动的随机性的描述主要靠统计学,因而,预报员在预报过程中愈发关注模式预报结果的变化特征,将模式变化趋势统计订正作为对预报结论订正的一种方法,往往

订正后的准确率要优于不做订正的情况,但是显然对于本文分析的个例,这种变化趋势是一种严重的误导。那么对于这种情况,预报员能否在短期时效内进行有效的订正?

通过比较各家模式预报场与实况高低空形势场、风场、地面低压场等,发现各家模式准确预报了23日白天中高层的显著降温,降温幅度和冷空气南压的位置均和实况基本一致,也就是说对于23日夜间的层结不稳定特征是有指示意义的。模式最大的误差出现在对地面系统的预报,23日20时地面实况场上高压中心位于河套以西,中心为1 035 hPa,而模式预报的高压中心位置偏西偏北且中心强度为1 032.5 hPa,比实况偏小2.5 hPa,高压前部实况气压梯度10个经距12.5 hPa,预报场中气压梯度为

10个经距7.5 hPa,因而导致模式对于渤海23日风场预报大幅度偏弱。基于本文分析发现,对此次大风预报失败的原因是,预报员考虑了模式对23日10 m风场预报的检验订正,忽略了对于模式形势场的分析,忽略了模式不同起报时次形势场与实况的对比检验。根据本次过程模式检验结果(见图10)发现,TJ-WRF虽然没有准确预报出大风等级,但0—84 h各预报时效结果均比EC-thin的效果好,与实况的偏差小于EC-thin,说明中尺度数值模式对于极端性大风的预报效果的指示性作用更好。

6 结论

本文根据常规地面观测资料、单站风廓线及

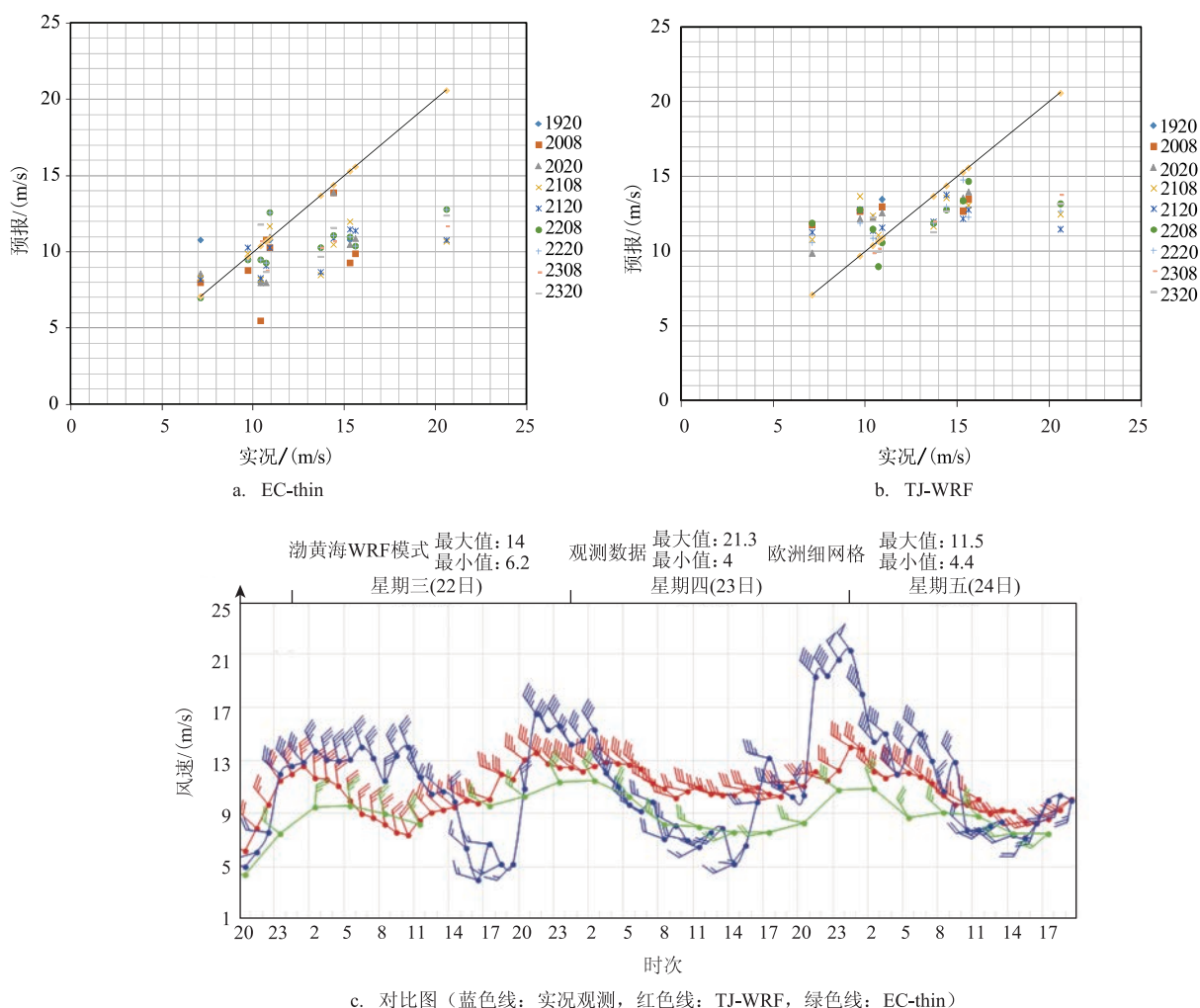


图10 模式预报离散度分布和22日20时起报结果(1920表示19日20时)与实况对比曲线图

ERA Interim 再分析资料、EC-thin 和 TJ-WRF 模式预报结果,针对 2017 年 11 月 23 日夜间突发性强风过程进行了诊断分析,揭示了补充冷空气影响过程中渤海大风突增原因并探讨了短期时效的预报失败原因及订正思路。

(1)这次突发性强风集中出现在渤海中南部海域,风速在 1h 内从 10.4 m/s 跃升至 19.3 m/s,极大风达到 21.8 m/s,7 级以上平均风持续 6 h,最大平均风 21.3 m/s、阵风 26.4 m/s,此次过程具有风速增长快、突发性强的特点,由补充冷空气诱发副冷锋产生的大风强度远大于主冷锋的影响;

(2)23 日高层强风所在高度比 22 日高、高层风速更大,冷锋过境时 23 日垂直风速切变更强。高空大风速核的快速下降、锋前较强的上升运动以及冷空气过境时引发次级环流形成的强烈下沉运动,是引发动量下传从而形成 23 日强风的重要因素;

(3)由于 22 日冷空气主体过境后,海面受暖平流控制气温回升较明显,促进地面气压下降,当 23 日副冷锋诱发的冷空气影响该区域时一方面冷暖空气对峙加强使低空锋区加强,另一方面低空 850 hPa 冷平流强度的增强造成地面增压,使地面气压快速升高形成较大的变压梯度为强风出现提供了条件;

(4)由于 23 日 08—14 时渤海中南部的正温度平流输送,渤海海域 850 hPa 6 h 正变温达 1℃,风廓线低层 1 000 m 以下以西南风为主导,在暖平流作用下 23 日 08 时后地面负变压加大,当冷空气移入后由于 850 hPa 较强冷平流的作用,地面气压增大,变压梯度随之增强;

(5)根据上游北京和乐亭探空站分析大风发生前的大气垂直层结状态,23 日大风发生前期 850 hPa 升温但高层有明显降温,在大风发生前形成不稳定层结有利于空气的垂直能量交换,冷空气快速南下使 23 日 20 时—24 日 02 时 850 hPa 气温短时间内迅速下降是导致强风发生的另一重要因素;

(6)数值模式虽然准确预报了 23 日白天中高层的显著降温,但由于对地面高压强度及移速的预报偏差,导致对于渤海 23 日风场预报大幅度偏弱。相较于 EC-thin 大尺度天气模式,中尺度 TJ-WRF 模式对于极端性大风的预报效果的指示性作用更好。

参考文献:

- [1] 曲海涛, 刘学萍. 黄渤海大风统计分析和预报方法[J]. 辽宁气象, 2002, (4): 11-12.
- [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] 辛宝恒. 黄渤海大风概论[M]. 北京: 气象出版社, 1989.
- [4] 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.
- [5] 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(增刊 1): 79-83.
- [6] 孙燕, 吴海英, 沈树勤, 等. 冬春季江苏沿海大风的特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 699-704.
- [7] 陈家辉, 丁合盛. 黄渤海主要航线附近春秋海面大风分析[J]. 大连海运学院学报, 1985, 11(4): 13-24.
- [8] 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.
- [9] 张晓慧, 盛立芳, 张红岩. 渤海秋末初冬一次强寒潮天气过程分析[J]. 海洋预报, 2004, 21(3): 51-56.
- [10] 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.
- [11] 马卫民, 周建军, 荣毅. 02 年秋东海海域三次大风天气过程分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(1): 99-104.
- [12] 赵琳娜, 赵思雄. 引发北方沙尘暴天气快速发展气旋的数值模拟研究[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(1): 116-126.
- [13] 仪清菊, 丁一汇. 东海地区温带气旋爆发性发展的动力学分析[J]. 气象学报, 1992, 50(2): 152-166.
- [14] 李长青, 丁一汇. 西北太平洋爆发性气旋的诊断分析[J]. 气象学报, 1989, 47(2): 180-190.
- [15] 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[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(6): 59-67.
- [16] 朱男男, 刘彬贤, 孙密娜, 等. 引发渤海风暴潮一次江淮气旋北上过程诊断分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(5): 10-17.
- [17] 杜俊, 余志豪. 中国东部一次入海气旋的次级环流分析[J]. 海洋学报, 1991, 13(1): 43-50.
- [18] 尹尽勇, 曹越男, 赵伟, 等. 一次黄渤海入海气旋强烈发展的诊断分析[J]. 气象, 2011, 37(12): 1526-1533.
- [19] 黄彬, 代刊, 钱奇峰, 等. 引发黄渤海大风的黄河气旋诊断研究[J]. 气象, 2013, 39(3): 302-312.
- [20] 吕筱英, 孙淑清. 气旋爆发性发展过程的动力特征及能量学研究[J]. 大气科学, 1996, 20(1): 90-100.
- [21] 王雷, 林伟, 徐哲永. 一次猛烈低压大风的诊断分析[J]. 海洋预报, 2010, 27(6): 45-50.
- [22] 仰国光, 唐斌耀, 严迎春, 等. 一次寒潮强风天气过程分析[J]. 气象, 1997, 23(1): 38-40.
- [23] 王雷. 一次冷空气强风的成因分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(4): 96-101.
- [24] 曹美兰, 项素清. "晴天暴"的物理成因及预报[J]. 气象, 2002, 28

- (5): 22-26.
- [25] 易笑园, 李泽椿, 陈涛, 等. 2007年3月3—5日强雨雪过程中的干冷空气活动及其作用[J]. 南京气象学院学报, 2009, 32(2): 306-313.
- [26] 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.
- [27] 孙青, 盛春岩, 刘畅, 等. "130318"渤海强风天气成因分析[J]. 海洋预报, 2017, 34(2): 51-59.
- [28] 黄彬, 杨超, 朱男男, 等. 渤海冷空气大风过程中3次风速波动的原因分析[J]. 气象科技, 2017, 45(3): 499-507.

Mechanism study on the sudden gale occurred in the middle and southern Bohai Sea.

SUN Xiao-lei¹, HUANG Bin², YI Xiao-yuan³, LIU Bin-xian¹, SU Hang¹, LIN Xiao-meng³

(1. Tianjin Ocean Center Meteorological Observatory, Tianjin 300074 China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100081 China;

3. Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074 China)

Abstract: Based on the AWS, wind profile, ERA Interim 0.25l observed analysis data, EC-thin and TJ - WRF model data, the sudden gale occurred at the night of November 23, 2017 were used to analyzed. The reasons of forecast failure and how to correct the model's results are discussed. Results shows: (1) the momentum transferring from higher level was the reason of the rapid wind-speed growth. The sudden and convection of surface layer wind were enhanced by the momentum descending and the wind vertical shear. (2) During the process of gale, the increasing of cold advection leads directly to the surface pressure boost. The increase temperature at low level resulted in much more strength intensity of the front zonal and surface pressure gradient when the cold front passes through. The time of the gale was corresponding to the maximum allobaric gradient, and the wind area was located in the center of positive allobaric gradient. (3) The temperature increasing in low level was associated with the instability of air. When the cold front passing, the area of Bohai sea accompanied by the ascending motion which is conducive to the vertical energy exchange of air. (4) Due to the forecasting bias of the intensity and the moving speed of the surface cold high pressure, the forecasting of model for the Bohai sea on November 23 was significantly weaker.

Key words: Supplementary cold air; sudden gale; momentum transfer; wind profile; allobaric field; Forecast adjust