

盛春岩, 李建华, 范苏丹. 2014. 地形及下垫面对渤海大风影响的数值研究. 气象, 40(11):1338-1344.

地形及下垫面对渤海大风影响的数值研究^{*}

盛春岩¹ 李建华² 范苏丹¹

1 山东省气象科学研究所, 济南 250031

2 山东省威海市气象局, 威海 264200

提 要: 为研究渤海周围下垫面对大风的影响, 利用 WRF(Weather Research and Forecasting)模式, 对 2009 年 4 月 13 和 15 日两次渤海东北大风过程进行了地形和海洋下垫面敏感性试验。结果表明: 渤海北部地形对渤海海面大风有增强作用。地形的存在会使大风区更偏东, 冷空气速度略偏慢, 而辽宁东部地形的阻挡作用会使黄海北部海面风速减小。辽河平原喇叭口地形的存在使喇叭口东北部风速增大, 而喇叭口西南侧及渤海海面风速减小。由于海洋下垫面较光滑, 会对海上大风起到增强作用, 引起“向岸风”效应。海洋下垫面对大风的增强作用与大风强度有关, 风速越大, 海面对大风的增强作用越明显, 向岸风作用也就越明显。两次东北大风的试验结果表明, 海面对大风的增强作用在渤海北部约 $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 渤海南部约 $3\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。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。

关键词: 下垫面, 渤海大风, 数值研究

中图分类号: P463, P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.11.006

Numerical Study of Terrain and Underlying Surface Effect on Bohai Gale

SHENG Chunyan¹ LI Jianhua² FAN Sudan¹

1 Shandong Provincial Meteorological Institute, Jinan 250031

2 Weihai Municipal Meteorological Bureau of Shandong Province, Weihai 264200

Abstract: In order to study the effect of underlying surface near Bohai Sea on gale, sensitivity experiments of terrain and sea surface with two northeasterly gale cases on 13 and 15 April 2009 were conducted using the WRF (Weather Research and Forecasting) model. The results show that the terrain to the north of Bohai Sea may enhance the wind force over the sea, and gale occurs more easterly and cold air moves more slowly. The dynamic block of the northeastern terrain of Bohai Sea may weaken the wind force over the north Yellow Sea. The bell-mouthed terrain to the north of Bohai Sea may enhance the wind force to the northeastern part and weaken the wind force to southwestern part. The sea surface may enhance the wind over the sea to $3\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in the southern part and $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in the northern part, which causes the “shoreward gale” effect. The stronger the wind, the more obvious the ocean effect. In all, the effect of sea surface is stronger than the effect of terrain.

Key words: underlying surface, Bohai gale, numerical study

引 言

渤海是我国北方经济发达的地区, 沿海岸线密

集分布着大量现代化港口群, 海上大风天气频繁发生, 对于沿海及海上交通、运输、作业以及沿海养殖等均有重要影响。加强海上大风天气预报技术研究, 提高对大风天气发生发展机制的研究具有重要

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106006)和山东省超级计算科技专项项目(2011YD01106)共同资助
2013 年 7 月 23 日收稿; 2014 年 7 月 31 日收修定稿
第一作者: 盛春岩, 主要从事数值预报和海洋气象研究. Email: shengchunyan@gmail.com

意义。

渤海冬春季大风多为冷锋引起的,一定的气压梯度、冷平流等对大风的强度有重要影响。对于海上大风的发生机制,比较经典的认识是多数强风事件与较强的气压梯度(Streten,1967)和低压系统有关(Streten,1963;1990;Loewe,1974),这也是台站预报员在大风预报时长期使用的重要指标。随着观测系统的增加和中尺度数值模式的发展,研究发现地形、下垫面温度等均对海上大风有重要影响,例如,澳大利亚东南部沿海经常发生的南寒风(Reid,2000),南极洲沿海常常出现的强风事件等,均与一定的地形及下垫面温度有较大关系(Ball,1960;Parish,1982;1984;Parish et al,1987;Hong et al,2006)。郭冬艳等(2011)研究了琼州海峡沿岸大风分布规律及其影响系统,得出了南北两岸大风的不同分布特征。潘新民等(2012)研究了新疆百里风区地形对大风的影响,结果表明,虽然造成大风的根本原因是冷空气活动,但特殊的地形影响加大了风速。百里风区就是越山的冷空气因狭管效应和流蹙风作用而形成的强风区(汤浩等,2011)。黄彬等(2013)研究了2011年4月26—27日一次突发性黄河气旋造成黄渤海大风的物理变化过程,对黄河气旋发生、发展的物理机制进行了诊断分析,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。渤海周边地形特殊,北部有燕山山脉和辽东东部地形,中间为平原地带,当地面冷高压东移时,冷空气常常从我国东北地区回流南下,造成渤海和黄海北部海面出现东北大风(尹尽勇等,2011)。这种东北大风风向与辽河平原走向一致,特殊的地形对渤海大风必然有增强作用,但对于渤海北部地形以及海洋下垫面对渤海大风的影响究竟如何,尚缺乏深入的研究。本文将2009年4月15日凌晨发生在渤海及山东的大风过程为例,对地形和海洋下垫面对大风的影响进行数值研究。

1 过程概述

2009年4月13日,受冷锋影响,渤海南部及山东出现了大风过程。本次过程的主要特点是冷空气强度不大、气压梯度不明显,风力在到达渤海南部及山东时明显加强,过程最大风力为6~7级,阵风最大达10级(图略)。2009年4月15日凌晨,渤海及

山东出现了一次大风天气。本次大风属地面冷锋东移后从东北地区回流影响渤海及山东造成的,风力大、持续时间短,大风在渤海和山东一带显著加强。大风主要集中在15日03时到上午时段,强风来势凶猛,其中渤海海面风力最大达7~8级,阵风9~11级,较黄海北部风力明显偏大。山东内陆以鲁西北和鲁中北部地区风力最大,平均最大风力达7~8级,阵风9~10级。从15日05和08时的地面天气图上可以清楚看到(图1a和1b),大风区主要位于山东及北部沿海,而河北及以西的内陆地区风力明显偏小。冷锋影响渤海及山东时,地面风速有明显的局地增强特征。位于烟大航线附近及渤海南部海域的砣矶岛、大汶流自动站显示(图1c和1d),冷空气在15日02时开始影响渤海,气温下降,风速突增,阵风加大。15日06时前后风力达最大,海上风力均在8级以上,之后风速逐渐减弱,气温缓慢回升。

从天气形势看,2009年4月15日大风过程发生在500、700和850 hPa三层低涡横槽的形势下,850 hPa在115°E附近45°~55°N的锋区强度达到3°C/纬度。地面上在贝加尔湖西部形成较强的冷高压中心,中心强度达1036 hPa。高空横槽自上而下转竖,850 hPa等压线与等温线几乎垂直,强冷平流不断向南输送冷空气,地面强的锋区造成强烈的变压,导致渤海及山东出现7~8级、阵风9~10级的偏北大风。关于本次过程盛春岩等(2012)有较详细的分析。

2 数值试验方案设计

为研究下垫面对大风的影响,重点针对渤海北部地形及渤海海面摩擦作用,采用中尺度天气研究和预报(Weather Research and Forecasting, WRF)模式进行了数值试验及敏感性试验。控制试验采用15 km网格分辨率,模式区域的中心位置为39.6°N、122.2°E,水平格点数为100×104,垂直分50层。微物理过程采用Lin方案(Lin et al,1983),选取Kain-Fritsch(new Eta)积云对流参数化方案(Kain,2004),边界层方案为YSU scheme。采用1°×1°的NCEP分析资料作为初始场和边界条件,模式积分24 h。

地形敏感性试验共设计五组,第一组(TER1)是去掉44°N以南、116°E以东的辽河平原西部地形;第二组(TER2)为去掉44°N以南、126°E以西的

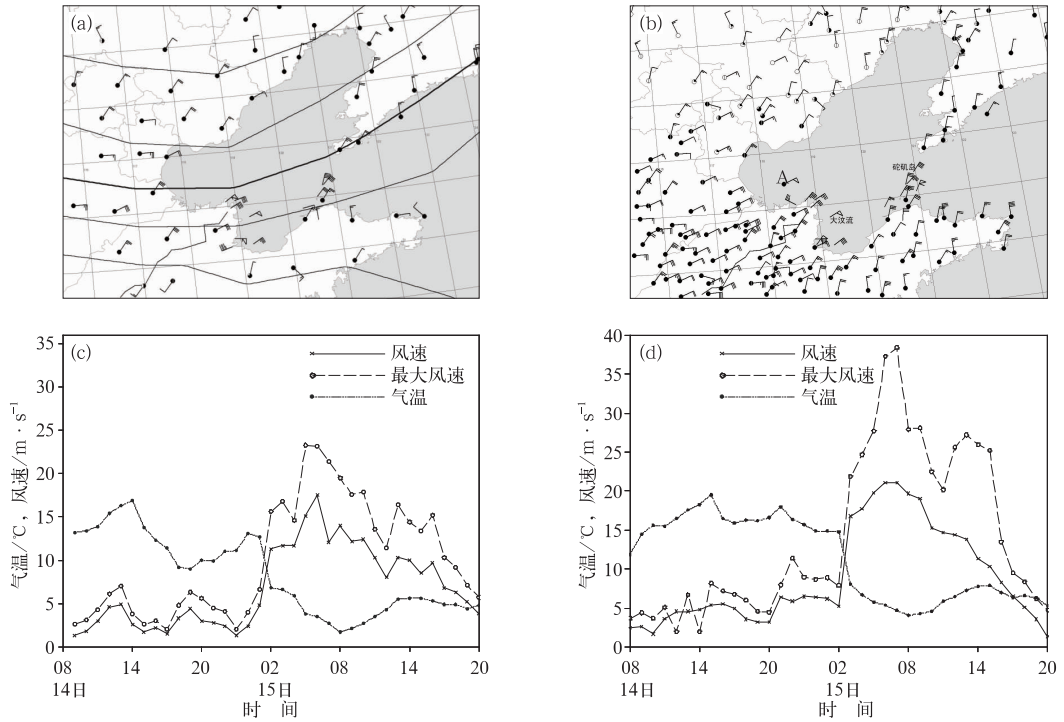


图 1 2009 年 4 月 15 日 (a)05 时和 (b)08 时渤海及周边地面 10 m 风场及海平面气压场(图中 A 为天津渤海 A 平台位置),14 日 08 时至 15 日 20 时 (c)砣矶岛和 (d)大汶流气象要素演变曲线

Fig. 1 The 10 m wind field and SLP near the Bohai Sea at (a) 05:00 BT and (b) 08:00 BT 15 April 2009; the hourly change of meteorological elements at Tuoji Island (c), and at Dawenliu Island (d) from 08:00 BT 14 to 20:00 BT 15 April 2009

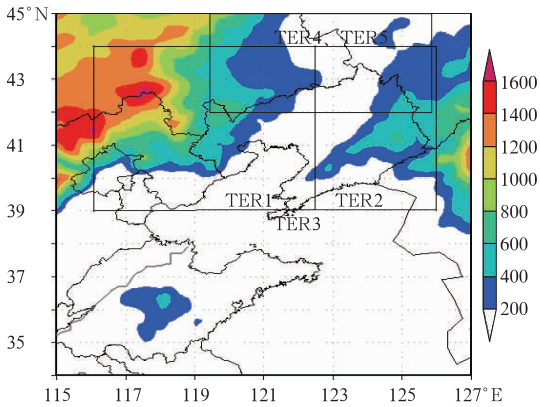


图 2 地形敏感性试验示意图(单位:m)
Fig. 2 Sketch map of terrain sensitivity experiment (unit: m)

另外,由于海面摩擦较小,大风在海上通常会风力加强,这也是造成海面比陆地风力偏大的一个原因。为研究渤海海面下垫面摩擦对大风的增强作用,进行了海陆下垫面敏感性试验(EXP2),将122°E以西的渤海海面变为陆地,对两次大风过程进行了模拟。下面重点以4月15日东北大风为例,对数值试验结果进行分析。

3 数值试验结果分析

3.1 控制试验结果

分析控制试验模式结果发现,模式较好地模拟出本次大风过程。图 3 给出了 15 日 05 时(北京时,下同)大风较强时段模式模拟的 10 m 风场,以及天津渤海 A 平台实况与预报风速演变曲线对比图,可以发现,WRF 模式较好地模拟出了本次大风的强度以及大风开始及结束时间。基于此,下面重点分析敏感性试验对大风的影响。

辽宁东部地形;第三组(TER3)为东西部地形都去掉;第四组(TER4)为将辽河平原左右 41°~45°N、119°~126°E 范围变为 600 m 高的地形;第五组(TER5)为将辽河平原左右 41°~45°N、119°~126°E 范围地形高度 200 m 以上的地形加高为 600 m。

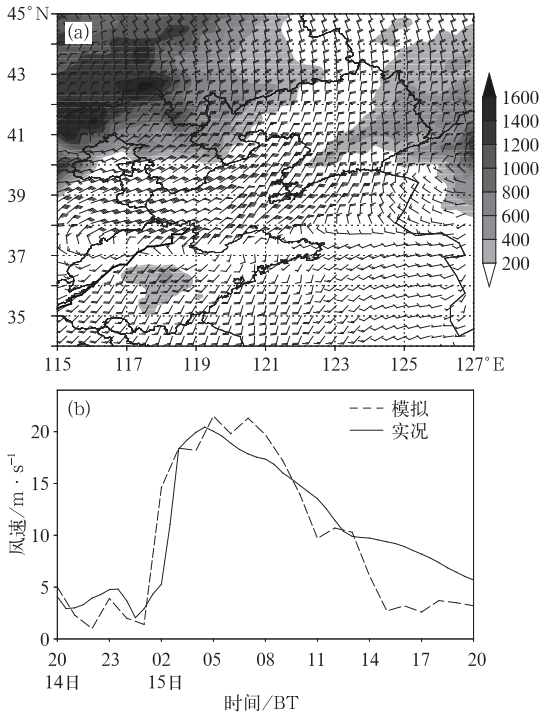


图 3 2009 年 4 月 15 日 05 时控制预报模拟的 10 m 风场图(a)以及模拟的天津 A 平台风速与实况对比(b)

Fig. 3 Simulated 10 m wind field by the control experiment (a) and simulated wind speed and observation data at Tianjin Bohai A Platform (b) at 05:00 BT 15 April 2009

3.2 地形敏感性试验结果

分析发现,去掉渤海北部地形(TER1)后,由于缺少地形的动力阻挡,模拟的大风区更偏西,在地形拐角处出现由于风速辐合,形成定常的大风区。同时,模拟的冷空气速度略偏快,但冷空气后部大风略减小。图 4a 为 15 日 05 时第一组敏感性试验模拟的大风情况,等值线为去掉地形后与控制试验的全风速差。由图 4a 可以清楚地发现,如果没有地形的阻挡作用,渤海湾以西地区的风速显著增大。而地形的存在使得渤海以西的大风区消失,渤海海面风速略增大,且冷空气的速度略偏慢。

去掉辽宁东部地形(TER2)后,模拟的冷空气影响后黄海北部海面风速增大,而渤海海面风速变化不大。由图 4b 发现,渤海东部海面尤其是靠近地形处的风速显著增大,表明由于辽宁东部地形的阻挡作用,黄海北部海面风速会减小。

同时将东部、西部地形都去掉(TER3)后,模拟的大风综合了前两组敏感性试验的结果(图 4c),即预报的大风区向偏西方向发展,渤海风速略减小,而东部海面风速增大。

为分析地形敏感性试验对风的影响情况,分别在渤海及黄海北部选取两个点进行单站风速预报分析。渤海选取天津 A 平台的位置(38.45°N、118.42°E),

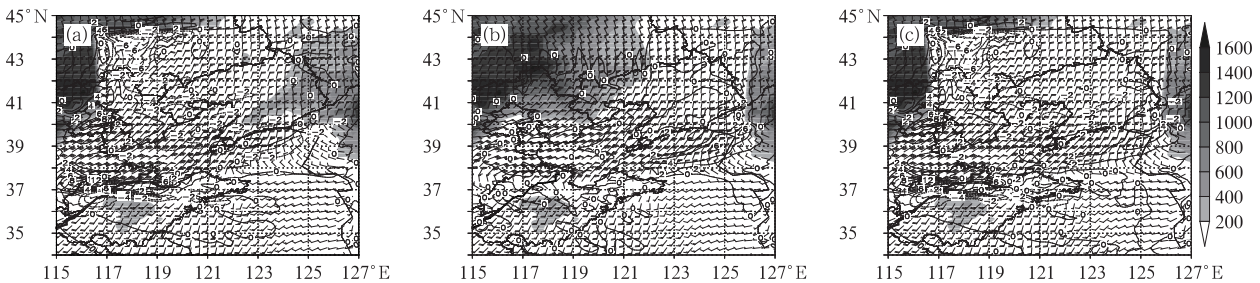


图 4 三组地形敏感性试验模拟的 2009 年 4 月 15 日 05 时风场及全风速与控制试验全风速差(图中等值线)(a)去掉渤海北部地形(TER1), (b)去掉辽宁东部地形(TER2), (c)同时去掉东西部地形(TER3)

Fig. 4 Simulated wind fields by the three sensitivity experiments and wind speed difference between sensitivity experiment and control experiment (the contour)

(a) remove the northern terrain of the Bohai Sea (TER1), (b) remove the eastern terrain of Liaoning (TER2), (c) remove the eastern and western terrain (TER3) at 05:00 BT 15 April 2009

黄海北部海面选取同样纬度的(38.45°N、123.5°E)。图 5 给出了冷空气影响前后控制试验及三组地形敏感性试验模拟的单点风速情况,可以发现,当去掉北部地形后,模拟的天津渤海 A 平台处风速减弱,约减小 2~3 m · s⁻¹,而黄海北部海面风

速变化不大(图 5a)。当去掉东北部地形后(图 5b),天津渤海 A 平台处风速基本不受影响,而黄海北部海面风速增大。

分析去掉渤海北部地形的敏感性试验结果发现,由于去掉地形后,气流绕地形绕流,使得大风区

向西偏,因此,渤海海面风速减小。由此可见,渤海北部地形对渤海海面风速起着增强作用。而黄海北部海面则由于地形的阻挡作用,地形会使海面风速

减小。根据数值试验结果,本次过程渤海北部地形对大风的增强作用在 $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。而辽宁东部地形对黄海北部海面风速却有减弱的作用。

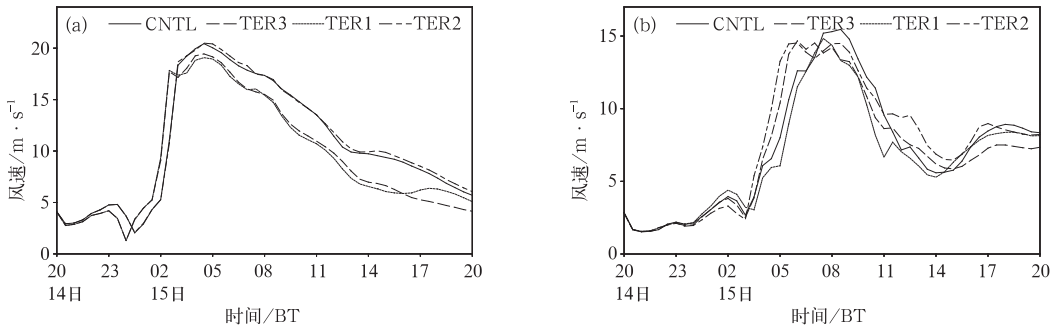


图 5 控制试验及三组地形敏感性试验模拟的天津 A 平台(a)及黄海北部海面(b)风速演变曲线 (CNTL 为控制试验)

Fig. 5 Simulated wind speed at Tianjin Bohai A platform (a) and North Huanghai Sea (b) by the control experiment (CNTL) and the three sensitivity experiments

3.3 辽河平原附近地形对渤海大风影响的敏感性试验结果

为分析渤海北部辽河平原附近喇叭口地形对渤海大风的影响,设计敏感性试验 4 和 5 进行数值模拟。结果表明(图 6),当将辽河平原附近变为 600 m 高的地形后,模拟的渤海风速普遍减小,而减小最明显的时间是 15 日凌晨前后冷空气刚刚影响时。与控制试验对比发现,将辽河平原变为地形后,由于动力阻挡作用,冷空气影响的时间稍慢,因此,造成冷空气前锋风速较控制试验小,而后部冷空气主体造成的海面风速减小约 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。

分析敏感性试验 5 的结果(图 6b)发现,喇叭口地形加高后,模拟的喇叭口地形东北侧风速增大,而喇叭口西南侧及渤海海面风速减小。对比控制试验结果可见,由于喇叭口地形两侧地形高度加高,使得北方来的冷空气遇到地形后向东绕流加强,因此,在喇叭口地形东北侧出现“定常”的风速增大区。在整个冷空气影响过程中,风速增大 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。而地形西南侧由于北部地形加高,气流更多绕流,因此,地形南部的渤海海面风速减小,且冷空气略偏慢。在整个冷空气影响过程中,喇叭口地形西南部风速偏小 $4\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,渤海海面风速约减小 $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

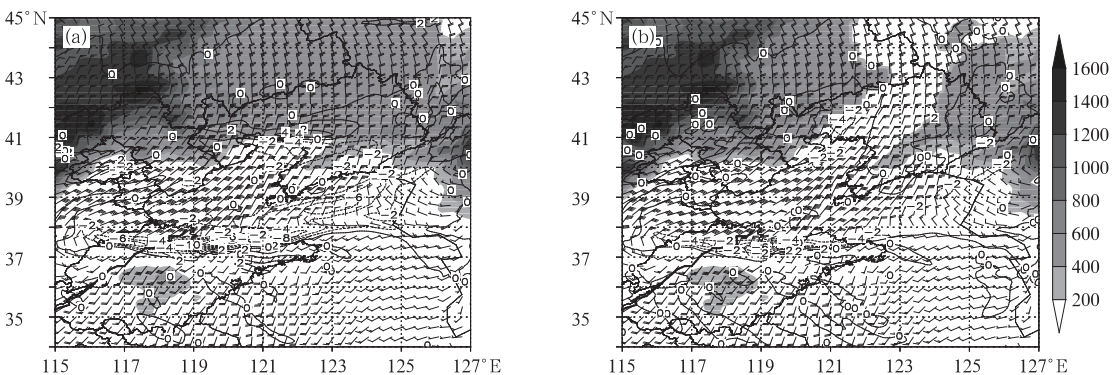


图 6 2009 年 4 月 15 日 05 时敏感性试验 4(a)和 5(b)模拟的风场及全风速与控制试验全风速差(等值线)

Fig. 6 Simulated wind field and wind speed difference between sensitivity experiment and control experiment at 05:00 BT 15 April 2009

(a) Sensitivity Experiment 4, (b) Sensitivity Experiment 5

3.4 海陆下垫面敏感性试验结果

为分析渤海海洋下垫面对东北大风的加速作用,将 122°E 以西的渤海海洋下垫面变为陆地,进行了敏感性试验。分析发现,15 日 01 时前后冷空气刚刚进入渤海后,由于海洋下垫面变为陆地,地面摩擦的作用使风速减弱了 $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。15 日 03 时(图 7a),当冷空气南下到渤海南部时,39°N 以南的南部海区风速减小达 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。15 日 07 时(图 7b),渤海南部海面风速减弱达最大,龙口以西海面风速减小达 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这一结果表明,由于海洋下垫面的摩擦较小,大风进入渤海后会增大,且南

部沿海大风增强更明显,这种增强作用即为海洋下垫面引起的“向岸大风”效应。

为分析整个冷空气过程中下垫面对风速影响情况,分别选取位于渤海北部和南部两个点的模拟风速进行分析。北部选取位于(40°N,118.42°E)靠近辽东湾的点,南部选天津渤海 A 平台的位置。图 7c 和 7d 分别给出了敏感性试验和控制试验模拟的该两点风速演变情况,可以发现,当渤海变为陆地后,模拟的海面风速均减小。其中,北部海面风速减小最大约 $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,而南部海面风速减小最大约 $3\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

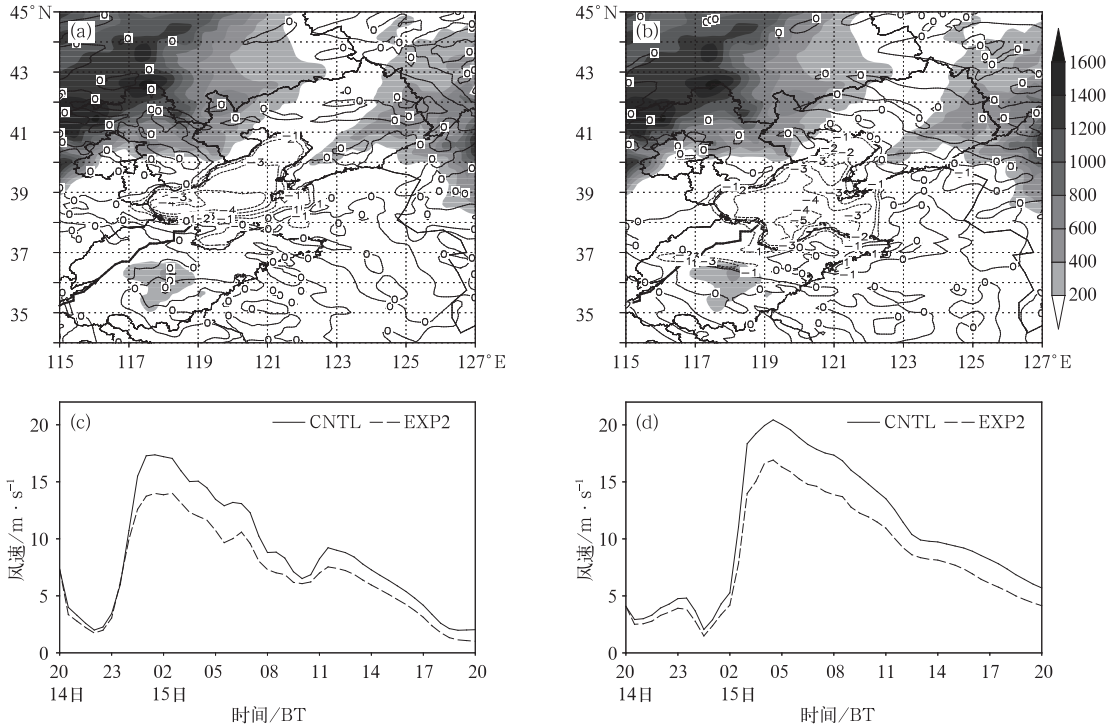


图 7 海洋下垫面敏感性试验(EXP2)模拟的 2009 年 4 月 15 日 03 时(a)、07 时(b)地面 10 m 风速与控制试验的风速差,以及(c)渤海北部(40°N,118.42°E)和(d)天津 A 平台位置控制试验和敏感性试验模拟的风速演变

Fig. 7 Wind speed differences between sea surface sensitivity experiment (EXP2) and control experiment (CNTL) at 03:00 BT (a) and 07:00 BT (b) 15 April 2009 and wind speed curve by control experiment and sensitivity experiment at the north Bohai Sea (40°N,118.42°E) (c) and Tianjin Bohai A Platform (d)

4 2009 年 4 月 13 日大风数值试验结果分析

对 4 月 13 日大风过程的数值试验结果进行了

分析,结果表明,去掉渤海北部地形后,同样,模拟的大风区也向西偏,在地形拐角处风速增大,而渤海海面风速减小,其结果与 4 月 15 日大风过程类似。而去掉渤海东部地形后,模拟的黄海北部风速也增大,渤海海面风速变化不大。同时去掉东部、西部地形,

模拟的风速的变化也与4月15日的类似。

将辽河平原附近变为600 m高的地形后,模拟的渤海风速普遍减小,而减小最明显的时间是13日20—21时前后,渤海北部风速减小了约 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而后期渤海南部风速减小可达 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

将辽河平原喇叭口地形加高后,模拟的喇叭口地形附近的风速变化不大,这可能与本次过程在渤海北部风速并不大有关。而喇叭口西南侧及渤海海面风速减小。在整个冷空气影响过程中,喇叭口地形西南部风速偏小可达 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,渤海海面风速约减小 $2 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,地形对风速的影响与4月15日大风过程的类似,但强度略小。

将 122°E 以西的渤海海洋下垫面变为陆地进行敏感性试验发现,由于海洋下垫面变为陆地,地面摩擦的作用使渤海海面风速整体减弱,其中,渤海北部海面最大可减小 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,13日17时渤海南部风力较大时风速最大可减小 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与4月15日大风过程相比海洋下垫面的影响变少了。这一结果似乎表明,渤海海面对大风的增强作用与大风的强度有关。从这两次试验结果看,风速越大,海面的影响作用越大,向岸风作用越明显。

5 结论与讨论

为研究渤海周围下垫面对大风的影响,利用WRF模式,对2009年4月13和15日两次渤海东北大风过程进行了地形和海洋下垫面敏感性试验,得到以下结论:

(1) 渤海北部地形对东北冷空气大风有重要影响。北部地形对渤海海面大风有增强作用,使大风区更偏东,冷空气速度略偏慢。而辽宁东部地形的阻挡作用会使黄海北部海面风速减小。

(2) 由于海洋下垫面较光滑,会对海上大风起到增强作用,引起“向岸风”效应。海洋下垫面对大风的增强作用与大风强度有关。风速越大,海面对大风的增强作用越明显,向岸风作用越明显。两次东北大风的试验结果表明,海面对大风的增强作用在渤海北部约 $2 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,渤海南部约 $3 \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(3) 辽河平原喇叭口地形的存在会使喇叭口东北部风速增大,而喇叭口西南侧及渤海海面风速减

小。

(4) 对两次东北大风过程的敏感性试验表明,由于渤海海洋下垫面对渤海大风的增强作用大于渤海北部地形动力作用的影响。

参考文献

- 郭冬艳,姜涛,陈有龙,等. 2011. 琼州海峡沿岸大风分布规律及影响系统分析. 气象, 37(11):1372-1379.
- 黄彬,代刊,钱奇峰,等. 2013. 引发黄渤海大风的黄河气旋诊断研究. 气象, 39(3):302-312.
- 潘新民,祝学范,黄智强,等. 2012. 新疆百里风区地形与大风的关系. 气象, 38(2):234-237.
- 盛春岩,杨晓霞. 2012. “09. 4. 15”渤海和山东东风过程的动力学诊断分析. 气象, 38(3):266-273.
- 汤浩,李如琦,贾丽红. 2011. 新疆“2. 28”大风的中尺度数值模拟. 气象, 37(11):1365-1371.
- 尹尽勇,曹越男,赵伟,等. 2011. 一次黄渤海入海气旋强烈发展的诊断分析. 气象, 37(12):1526-1533.
- Ball F K. 1960. Winds on the ice slopes of Antarctica. Antarctic Meteorology. Oxford: Pergamon Press: 9-16.
- Hong S Y, Noh Y, Dudhia J. 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Mon Wea Rev, 134:2318-2341.
- Kain J S. 2004. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. J Appl Meteor, 43:170-181.
- Lin Y L, Farley R D, Orville H D. 1983. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. J Climate Appl Meteor, 22:1065-1092.
- Loewe F. 1974. Considerations concerning the winds of Adelie Land. Z Gletscherkd Glazialgeol, 10:189-197.
- Parish T R. 1982. Surface airflow over East Antarctica. Mon Wea Rev, 110:84-90.
- Parish T R. 1984. A numerical study of strong katabatic winds over Antarctica. Mon Wea Rev, 112:545-554.
- Parish T R, Waight K T. 1987. The forcing of Antarctic katabatic winds. Mon Wea Rev, 115, 2214-2226.
- Reid H J. 2000. Modeling coastally trapped wind surges over south-eastern Australia. Part I: Timing and speed of propagation. Wea Forecasting, 14:53-66.
- Streten N A. 1963. Some observations of Antarctic katabatic winds. Aust Meteor Mag, 42:1-23.
- Streten N A. 1967. Some characteristics of strong wind periods in coastal east Antarctica. J Appl Meteor, 7:46-52.
- Streten N A. 1990. A review of the climate of Mawson—A representative strong wind site in East Antarctica. Antarct Sci, 2:79-89.