

汤浩,李如琦,贾丽红. 新疆“2.28”大风的中尺度数值模拟[J]. 气象,2011,37(11):1365-1371.

# 新疆“2.28”大风的中尺度数值模拟<sup>\*1</sup>

汤 浩 李如琦 贾丽红

新疆气象台,乌鲁木齐 830002

**提 要:** 受西西伯利亚较强冷空气入侵的影响,2007 年 2 月 28 日 02 时,乌鲁木齐开往阿克苏的 5807 次旅客列车,在新疆三十里风区遭遇狂风,造成 11 节车厢脱轨侧翻。使用 WRF 模式对这次大风天气过程进行了数值模拟。结果表明:WRF 模式较好地模拟了三十里风区大风的演变和分布特征,对逐时风速的模拟较实况偏小,但变化比较同步;很大的气压梯度和特殊的地形是大风形成的主要原因,狭管效应和下坡风同时存在。

**关键词:** WRF 模式系统,大风,数值模拟,狭管效应,下坡风

## Mesoscale Numerical Simulation of the 28 February 2007 Gale in Xinjiang

TANG Hao LI Ruqi JIA Lihong

Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002

**Abstract:** At 02:00 BT 28 February 2007, a train of No. 5807 from Urumqi to Aksu encountered terrible gale winds, which were caused by northerly cold wave, at the so-called 30 km wind gap in Xinjiang, leading to that the 11 carriages were derailed and overturned. By using mesoscale model WRF, a numerical simulation was made for the gale process. The results show that the WRF can simulate the variation and distribution of the gale in the 30 km wind gap, but the wind velocity of simulation is lower than that of observation, and variation trends of wind velocity are nearly to observations. It may be concluded that the high pressure gradient and special landform are the main reasons of the gale. Meanwhile, both funnel effect and downslope wind also exist.

**Key words:** the WRF model, gale, numerical simulation, funnel effect, downslope wind

### 引 言

受西西伯利亚较强冷空气入侵的影响,2007 年 2 月 26 日午后开始到 3 月 1 日新疆出现了一次强天气过程,北疆各地、天山山区、东疆地区普遍出现小雪,其中北疆西部、北疆沿天山一带、天山山区等地的部分地区达中到大雪。北疆西部、北部气温下降了 10℃ 以上,北疆其他地区的气温也有不同程度的下降。同时北疆的部分地区和哈密地区出现 5 级左右西北风,风口风力 8 级,三十里风区风力达 11 级。

28 日 02 时许,乌鲁木齐开往南疆阿克苏的 5807 次旅客列车,在行至吐鲁番的珍珠泉至红山渠间(属三十里风区),因狂风造成 11 节车厢脱轨侧翻,南疆铁路被迫中断。据列车出事地点珍珠泉大风监测站(43.1°N、88.56°E)监测资料显示,28 日凌晨 01—02 时,平均风力为 11 级,瞬间最大达 13 级。自兰新线、南疆线通车以来,由于大风灾害的影响,运输时常被迫中断,而此次事件是首次旅客列车因大风而倾覆。

随着 WRF 模式的不断发展和完善,越来越多的气象工作者使用 WRF 进行高影响天气个例特别是大降水天气的分析和研究<sup>[1-5]</sup>,在实时业务中

\* 国家自然科学基金(41075050)、中国气象局预报员专项(CMATG2008Y03)和新疆气象局“WRF 模式在新疆应用实验”共同资助  
2010 年 9 月 25 日收稿; 2011 年 3 月 24 日收修定稿  
第一作者: 汤浩,主要从事区域中尺度数值天气预报研究及应用. Email: tanghao72@163.com

WRF 模式也得到了广泛的应用,特别是在 2008 年奥运预报服务中 WRF 模式对风的预报能力得到了充分的体现<sup>[6-7]</sup>。在风能资源的模拟评估中,区域模式可以模拟出风能资源量的相对大小分布,但模拟的风能资源量偏小,特别是对大于  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的较大风速模拟得明显偏低<sup>[8]</sup>。孙贞等<sup>[9]</sup>对青岛的海风环流进行了模拟,表明 WRF 模式较好地模拟了海风环流发生发展的完整过程。本文以这次天气过程中三十里风区的大风为着眼点,使用 WRF V2.1 模式进行模拟分析,以求进一步了解地形对本次大风的形成所起的作用,为大风的预报提供参考依据。

## 1 天气形势及实况

### 1.1 亚洲环流形势由经向转纬向

500 hPa 高度场上(图略),欧亚范围内维持经向环流,为两脊一槽型,欧洲和蒙古地区为高压脊区,西西伯利亚至中亚为宽广的低压槽活动区。随着乌拉尔山脊的发展,脊前北风带建立、加强,引导极区的冷空气南下,巴尔喀什湖地区的低槽有所加深,由于脊顶有不稳定小槽东南下至巴尔喀什湖北部,使乌拉尔山脊发展东扩,西西伯利亚低涡东移北上,环流由经向向纬向转换,巴尔喀什湖低槽转竖东移,造成新疆北部地区的以降水、大风为主的天气过程。

### 1.2 高空强风带东移南压

从 500 hPa 风场可以看到,在天气过程前两天,  $40^{\circ}\text{N}$ 、 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$  附近有一个强的西南气流带,中心最大值达  $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,维持时间较长,并逐渐东移南压,使新疆的风速也由弱变强,到 27 日强风速带进入新疆北部上空,中心值达  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,直到 28 日夜间才逐渐减弱。另外,500 hPa 温度槽落后于高度槽,等高线和等温线交角大,斜压性强,带动北方冷空气继续南下。

### 1.3 地面风速实况

实况资料显示,事故地点珍珠泉大风监测站 27 日凌晨开始起风,27 日白天平均风速在  $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,瞬间风速最大达到  $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,27 日夜间到 28 日凌晨风速达到最大,多个时次平均风速达到或接近  $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,瞬间风速在 28 日 01 时达到最大

值  $39.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,28 日白天风速有所减小,但仍然较大。

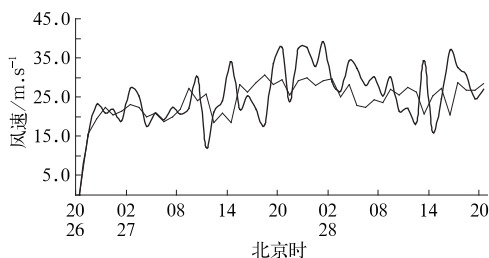


图 1 2007 年 2 月 26 日 20 时至 28 日 20 时珍珠泉站( $43.1^{\circ}\text{N}$ 、 $88.56^{\circ}\text{E}$ )大风逐时监测资料瞬间风速(粗实线),平均风速(细实线)

Fig. 1 The wind velocity at Zhenzhuquan Station( $88.56^{\circ}\text{E}$ ,  $43.1^{\circ}\text{N}$ ) from 20:00 BT 26 to 20:00 BT 28 February 2007 Instantaneous wind speed (thick solid line), average wind speed (thin solid line)

## 2 试验方案设计

模拟采用双向三重嵌套网格,模拟中心点为  $44^{\circ}\text{N}$ 、 $88^{\circ}\text{E}$ (乌鲁木齐经纬度为  $43.78^{\circ}\text{N}$ 、 $87.62^{\circ}\text{E}$ ),水平格距分别为 45、15 和 5 km,格点数分别为  $d_1: 133 \times 88$ 、 $d_2: 196 \times 130$ 、 $d_3: 292 \times 196$ 。垂直方向采用地形追随质量坐标共 31 层。模拟起始时间为 2007 年 2 月 26 日 08 时(北京时),积分时间 60 小时至 2007 年 2 月 28 日 20 时,这段时间覆盖了这次天气过程中从起风到风速逐渐加大最终逐渐减小的过程。初始场采用 NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  分析资料,6 小时更新一次侧边界,地形高度、土壤类型、土地利用的分辨率为  $30''$ ,这种高分辨下垫面信息的使用为精细数值模拟提供必要的基础。边界层方案选用 Eta Mellor-Yamada-Janjic,近地层为 MYJ Monin-Obukhov,微物理过程采用 Ferrier(new Eta),积云对流参数化采用 Betts-Miller-Janjic,短波辐射采用 Dudhia,长波辐射采用 rrtm,陆面过程采用 Noah。

## 3 模拟结果对比分析

### 3.1 500 hPa 高空形势

500 hPa 高空形势的模拟显示(图略),模拟结果基本一致,都较好地反映出槽脊系统的演变过程,

显示出 WRF 对本次天气过程高空形势有较好的模拟能力。

3.2 事故地点风速模拟

图 2 为模拟的各分辨率下珍珠泉站风速变化曲线(图 2a)、实况风速和 5 km 模拟结果对比图(图 2b)。图 2a 反映出各条曲线基本上都模拟出珍珠泉站 27 日凌晨开始起风,27 日夜间到 28 日凌晨

风速达到最大,28 日白天风速有所减小,这样一个总体趋势,分辨率越高模拟风速越大,5 km 模拟结果在 28 日 02 点达到最大为  $33.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。5 km 分辨率模拟的结果略大于 15 km 的模拟结果,同时也更接近实况,45 km 分辨率模拟的结果则远小于实况及其他两种分辨率的结果。图 2b 中实况风速波动较大,模拟结果表现出较强的不确定性,但与实况风速变化趋势非常接近。

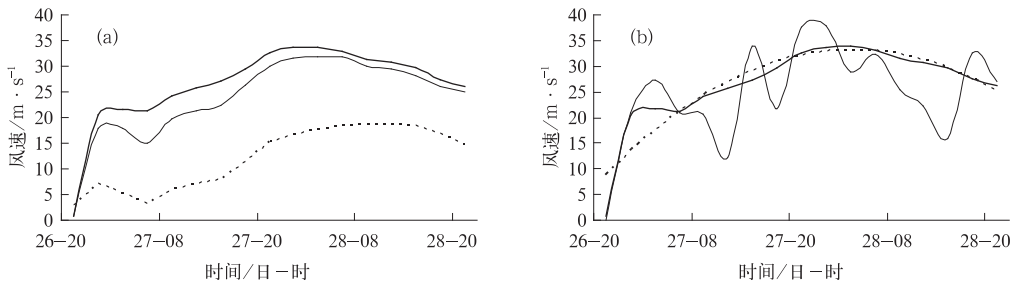


图 2 2007 年 2 月 26 日 20 时至 28 日 20 时珍珠泉站(43.1°N、88.56°E)风速模拟结果(a)  
(粗实线为 5 km 分辨率结果,细实线为 15 km 分辨率结果,虚线为 45 km 分辨率结果);  
5 km 模拟结果与实况对比(b)(粗实线为 5 km 分辨率结果,  
细实线为实况风速,虚线为实况风速 2 阶多项式趋势线)

Fig. 2 Simulation of wind velocity at Zhenzhuquan Station (43.1°N, 88.56°E)  
from 20:00 BT 26 to 20:00 BT 28 February 2007

(a, 5 km grid: thick solid line, 15 km grid: solid line, 45 km grid: dashed line)  
and the simulation and observation of wind velocity

(b, 5 km grid simulation: thick solid line, observed: solid line,  
and 2-order polynomial trend: dashed line)

3.3 地面风场的模拟

着重分析与实况最为接近的 5 km 分辨率的风场。图 3 是 5 km 分辨率模拟的逐 6 小时地面风场、海平面气压场,同时还叠加显示了模式地形的高程,事故地点用“+”标示。

从图 3 各时次风场分布图可以发现,天山峡谷南北两端存在较大压差,有气压舌从峡谷北端向南端伸展,峡谷内风矢量线长度逐渐增长,表明风速逐渐加大。27 日 08 时峡谷出口处风力达到  $23\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,压差为 5 hPa,14 时达到  $26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,压差为 10 hPa,20 时达到  $32\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,压差为 15 hPa,至 28 日 02 时超过  $32\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  大风区范围达到最大,事故地点附近风速甚至超过  $35\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,此时压差为 20 hPa,风速在峡谷内逐渐增加尤为明显。随后,风速开始减小,但峡谷出口处仍维持  $29\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的大风,28 日 20 时,北疆气压维持在 1030 hPa,南疆气压上

升到 1020 hPa,风速进一步减弱。

3.4 海平面气压的数值模拟

选取乌鲁木齐和吐鲁番分别代表北疆和南疆进一步分析模式对南北疆气压及压差的模拟能力,着重分析 5 km 分辨率的模拟结果。图 4 反映了 2007 年 2 月 26 日 20 时至 28 日 20 时乌鲁木齐和吐鲁番的海平面气压的实况与模拟值以及相应的气压差,表 1 反映了模拟值与实况的相关及误差。北疆气压的模拟值始终小于实况,平均误差为 4.3 hPa,相关系数为 0.989;而南疆模拟值始终大于实况,平均误差为一 3.3 hPa,相关系数为 0.938。南北疆气压差的模拟值始终小于实况,平均误差为 7.6 hPa,实况与模拟基本呈相同的变化趋势,在 27 日 23 时达到最大,分别为 24.3 和 17.6 hPa,在如此强的气压梯度作用下,最终出现了凌晨时的 12 级以上大风,但压差模拟值小于实况值 6.7 hPa,这可能是最大风

速的模拟值小于实况的主要原因之一。另外,区域模式模拟风速往往对较大的实况风速模拟偏小<sup>[8]</sup>,

这次模拟也出现类似的情况,或许与模式本身也有一定的关系。

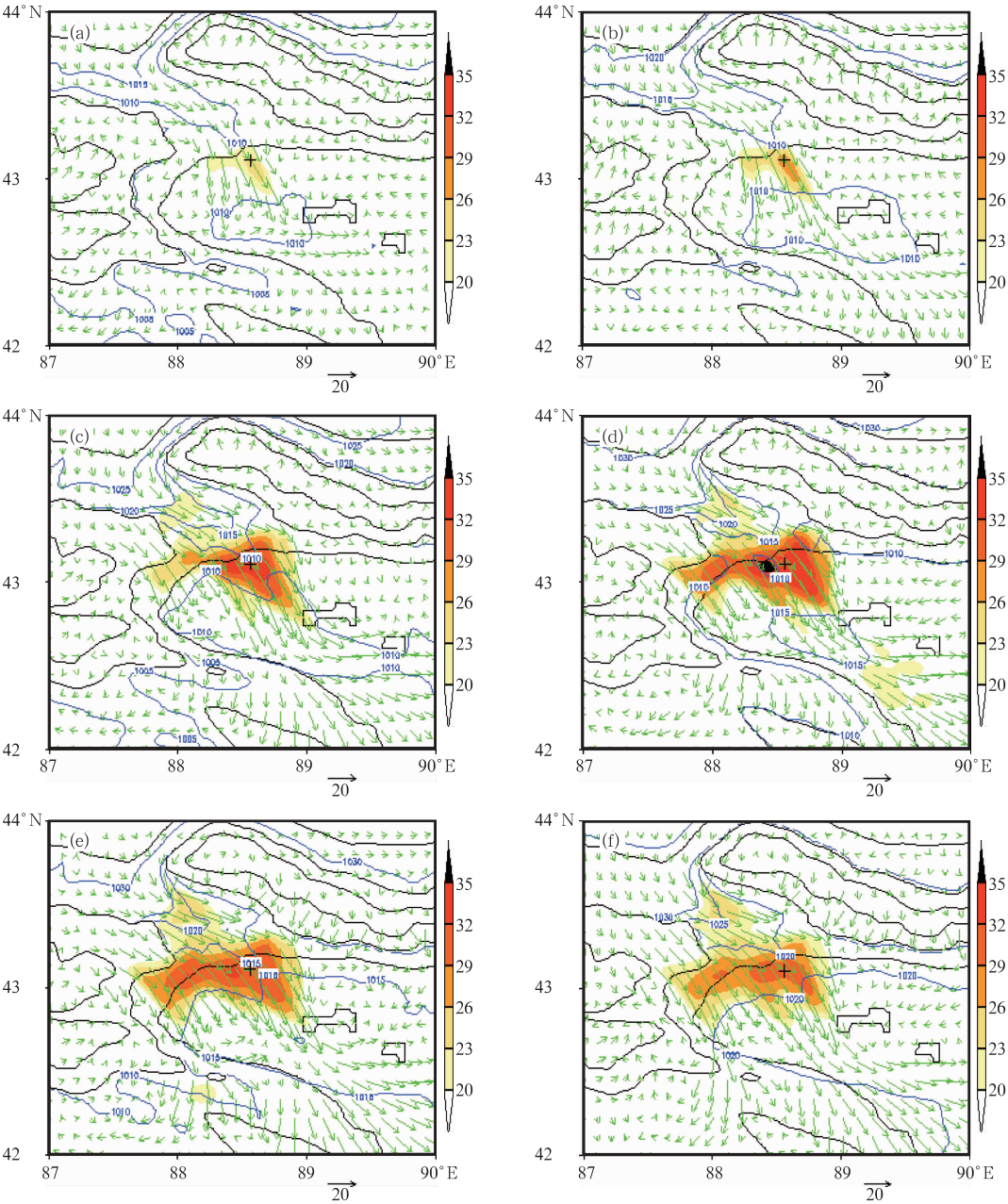


图 3 2007 年 2 月 27—28 日各时次 5 km 分辨率模拟的地面风场图  
(a) 27 日 08 时,(b) 27 日 14 时,(c) 27 日 20 时,(d) 28 日 02 时,  
(e) 28 日 08 时,(f) 28 日 14 时  
高程(黑线),海平面气压(蓝线),风矢(箭头),风速(填色)

Fig. 3 The wind field simulation by 5 km grid  
(a) 08:00 BT 27 February 2007, (b) 14:00 BT 27 February 2007,  
(c) 20:00 BT 27 February 2007, (d) 02:00 BT 28 February 2007,  
(e) 08:00 BT 28 February 2007, and (f) 14:00 BT 28 February 2007  
elevation (black line), SLP (blue line), wind vector (arrow), wind velocity (shaded)

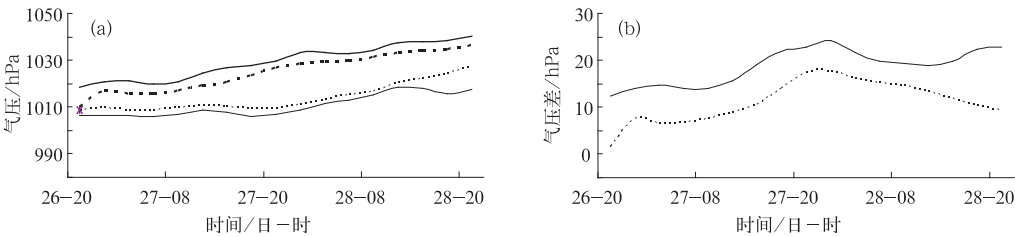


图 4 2007 年 2 月 26 日 20 时至 28 日 20 时乌鲁木齐海平面气压实况(粗实线)、5 km 分辨率模拟(粗虚线)和吐鲁番海平面气压实况(实线)、模拟(虚线)(a); 乌鲁木齐与吐鲁番海平面气压差实况(实线)与模拟(虚线)(b)

Fig. 4 The SLP of Urumqi, real (thick solid line), simulation 5 km grid (thick dashed line), and Turpan, real (solid line), simulation (dashed line) (a); The difference of SLP between Urumqi and Turpan, real (solid line), simulation (dashed line) (b) from 20:00 BT 26 to 20:00 BT 28 February 2007

表 1 2007 年 2 月 26 日 20 时至 28 日 20 时  
乌鲁木齐和吐鲁番气压模拟结果检验

Table 1 The verification of simulation of SLP  
at Urumqi and Turpan Stations from 20:00 BT  
26 to 20:00 BT 28 February 2007

	相关系数	平均误差/hPa
乌鲁木齐气压实况与模拟	0.989	4.3
吐鲁番气压实况与模拟	0.938	-3.3
乌鲁木齐和吐鲁番气压差实况与模拟	0.822	7.6

4 地形作用分析

新疆具有三山夹两盆的特殊地形,天山山脉整体自西向东横亘新疆中部,将新疆分为南北两个不同的气候区。在高程图(图 3)上可以看出东、西天山之间存在峡谷,乌鲁木齐位于峡谷的北端出口处,吐鲁番盆地处于南端,峡谷的地势是乌鲁木齐(919 m)至峡谷中段的达坂城(1104 m)逐渐升高,至吐鲁番(37 m)迅速降低。由于天山的阻挡作用,在特定的天气形势下,南北疆会出现较为显著的气压差异,当北高南低时往往出现吐鲁番盆地的偏北大风,南高北低时可能出现乌鲁木齐南郊甚至乌鲁木齐市区的东南大风。这次事故地点就位于峡谷南端出口处的三十里风区,三十里风区因为位于兰新铁路新疆境内,头道河车站至后沟车站的 30 km 铁路沿线而得名,是新疆著名的大风区。

关于乌鲁木齐东南大风和天山地形的关系,新疆气象部门的研究人员归结为地形的“狭管效应”,

并归纳出锋前减压型、回流型、锋前减压型加回流型、南冷北暖型共 4 种环流分型<sup>[10]</sup>,孟齐辉等<sup>[11]</sup>定性分析了地形的作用,指出东南大风形成中可能同时存在“狭管效应”和“下坡风效应”,“狭管效应”应该在海拔 2000 m 以上的天山地形,其下应以“下坡风效应”为主,并提到所谓的“水坝作用”,认为南疆气压比北疆高到一定时,空气就像水漫坝顶一样,下泄成风。

图 5 反映了事故地点 V 风量的剖面,从 2 月 27 日 08 时近地层有弱的北风,高空为西南气流,随着时间推移近地层北风风速逐渐加大,北风所在的范围同时向高空延伸,28 日 02 时北风风速达到 30 m·s<sup>-1</sup>从地面延伸到约 700 hPa,北风区主要位于峡谷出口处。可以发现,狭管的加速作用在近地面层形成的风速最大,最强时北风层顶达到 700 hPa 约 2950 gpm,距离地面 2300 m。

图 6 反映了事故地点 V 与 W 的经向剖面图,可以看出峡谷内除了 V 风量的逐渐加强外,同时存在下沉气流的加强,两者综合表现为强的下坡风,在 28 日 02 时达到最强,从 750 hPa 就开始出现下坡风,坡底的风速达到 30 m·s<sup>-1</sup>。图中还有另外一个现象,下坡空气在谷地向南运动时又遭遇到南边的高地形,在地形强迫下抬升,其高度达到 800 hPa。进一步对比 V 和 W 的数值,在珍珠泉站逐时 V 及 W 剖面模拟图上(图略),北风最大时达到 30 m·s<sup>-1</sup>,而下沉气流最大时为 3 m·s<sup>-1</sup>,可以认为,狭管效应起到的作用是主要的,下坡风只占小部分。

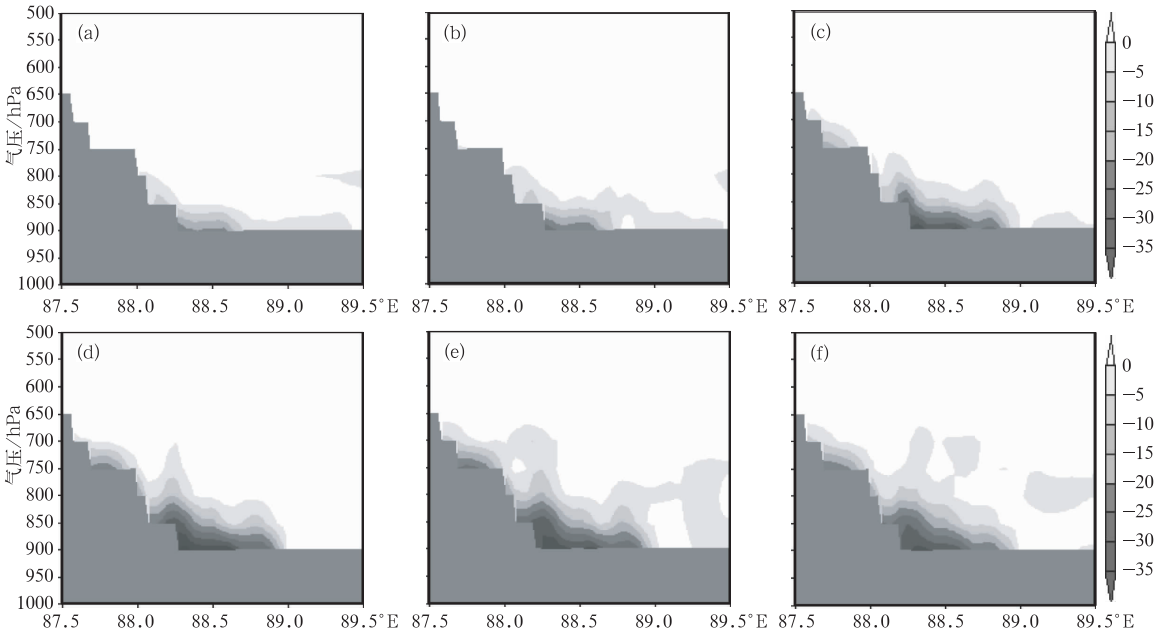


图 5 2007 年 2 月 27—28 日各时次沿 43.1°N 上 V 分量的垂直剖面  
(a) 27 日 08 时, (b) 27 日 14 时, (c) 27 日 20 时, (d) 28 日 02 时, (e) 28 日 08 时, (f) 28 日 14 时

Fig. 5 Vertical cross-sections of V component along 43.1°N  
(a) 08:00 BT 27 February 2007, (b) 14:00 BT 27 February 2007,  
(c) 20:00 BT 27 February 2007, (d) 02:00 BT 28 February 2007,  
(e) 08:00 BT 28 February 2007, and (f) 14:00 BT 28 February 2007

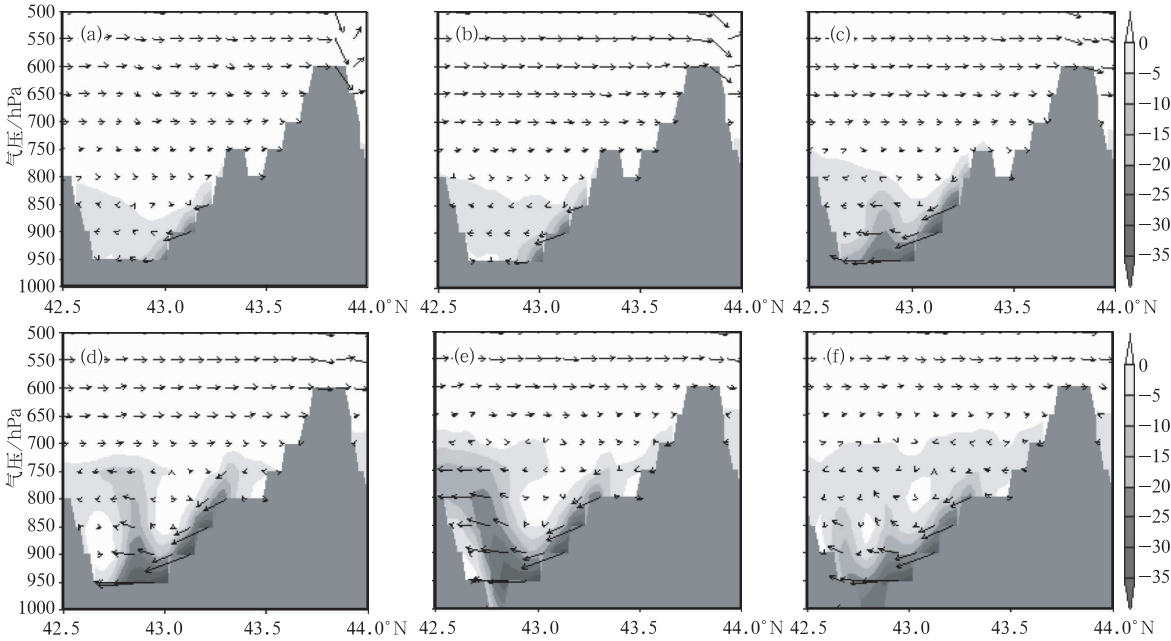


图 6 2007 年 2 月 27—28 日各时次沿 88.56°E 上 V 和 W 分量的垂直剖面  
V 风速(填色) V 与 W 合成(箭头)

(a) 27 日 08 时, (b) 27 日 14 时, (c) 27 日 20 时, (d) 28 日 02 时, (e) 28 日 08 时, (f) 28 日 14 时

Fig. 5 Vertical cross-sections of V and W components along 88.56°E  
(a) 08:00 BT 27 February 2007, (b) 14:00 BT 27 February 2007,  
(c) 20:00 BT 27 February 2007, (d) 02:00 BT 28 February 2007,  
(e) 08:00 BT 28 February 2007, and (f) 14:00 BT 28 February 2007

## 5 小结及讨论

使用 WRF V2.1 模式对 2007 年 2 月 28 日新疆三十里风区大风进行数值模拟的结果具有以下特点。

(1) WRF 模式较好地反映出三十里风区大风的演变和分布特征,尚不能描述风速的波动,最大风速的模拟较实况偏小,但对风速的变化趋势模拟较好。

(2) 分辨率越细模拟的风速越大,5 km 的模拟结果略大于 15 和 45 km 的模拟结果则小得多。

(3) 海平面气压场的模拟中,模式较好地模拟了南北疆气压场的演变特征,但北疆模拟偏小,南疆模拟偏大,最终结果是模拟的气压梯度偏小,这可能是模拟风速偏小的原因之一。

(4) 强的气压梯度和特殊的地形是大风形成的主要原因,狭管效应和下坡风同时存在,以狭管效应为主。

## 参考文献

[1] 尤红,肖子牛,王曼,等. 2008 年“7.02”滇中大暴雨的成因诊

断与数值模拟[J]. 气象,2010,36(1):7-16.

[2] 张德林,马雷鸣.“0730”上海强对流天气个例的中尺度观测分析及数值模拟[J]. 气象,2010,36(3):62-69.

[3] 于翥,姚展予. 一次积层混合云降水实例的数值模拟分析[J]. 气象,2009,35(12):3-11.

[4] 陈业国,农孟松,黄海洪,等. 一次华南强飑线过程的数值模拟分析[J]. 气象,2009,35(9):29-37.

[5] 隋迎久,蔡丽娜,王昌双. 一次山地环流激发对流天气的数值模拟[J]. 气象,2010,36(5):78-84.

[6] 杨育强,王晓云,薛允传,等. 2008 年青岛奥帆赛及残奥帆赛精细化气象服务综述[J]. 气象,2008,34(S1):3-8.

[7] 杨育强,高荣珍,马艳,等. 海面风精细化集成预报系统在青岛奥帆赛期间的应用[J]. 气象,2008,34(S1):241-245.

[8] 龚强,袁国恩,张云秋,等. MM5 模式在风能资源普查中的应用试验[J]. 资源科学,2006,28(1):145-150.

[9] 孙贞,高荣珍,张进,等. 青岛地区 8 月一次海风环流实例分析和 WRF 模拟[J]. 气象,2009,35(8):76-84.

[10] 张家宝,苏起元,孙沈清,等. 新疆短期短期天气预报手册[M]. 新疆:新疆人民出版社 1986:340-347.

[11] 孟齐辉,吕斌,刁平. 天山地形对乌鲁木齐东南大风影响的再认识[J]. 新疆气象,1996,(3):5-9.