

应用 MM5 模式对地面大风过程的模拟试验

龚 强 袁国恩 汪宏宇 齐丽丽 白乐生

(中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

提 要

用 MM5 模式对 2001 年 4 月 17~19 日、5 月 12~15 日辽宁省出现的大风过程进行了模拟,并与 13 个代表点的气象观测站资料或野外风电场测风资料作了对比。结果表明:模式能较好地模拟区域风场的演变和分布特征;对逐时风速的模拟与实况有一定差异,但模拟值与实况变化比较同步,基本反映出单点风速变化的趋势;对瞬时风速大于 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和平均风速大于 $9.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的模拟明显偏小。模拟试验初步说明,MM5 模式对区域地面风场形势、单点风速随时间变化特征的模拟较好,但可能减弱大风的实际强度。

关键词: MM5 模式 大风 模拟试验

引 言

随着数值模式的发展,利用中尺度数值天气预报模式进行业务预报和对天气现象进行模拟已成为现实。在国外真正比较成熟的中尺度模式有:美国的 MM5、RAMS、ARPS 等;英国的 UKMO 模式;日本的谱模式;澳大利亚的中尺度模式等^[1]。其中由美国国家大气研究中心(NCAR)和宾夕法尼亚州立大学联合研制的中尺度数值模式 MM5 因其较强的模拟能力得到广泛的应用^[2]。在国内 MM5 模式成为国家气象中心和各省气象局普遍采用的一种业务预报模式,并应用于暴雨、寒潮、气旋、冷涡、山谷风等中尺度系统的模拟^[3~5]。这些研究和应用发现 MM5 模式对天气形势、降水特别是暴雨等重大灾害性天气的模拟能力较强^[6],但对地面大风模拟效果的试验研究不多见。为此本文用该模式对辽宁省发生的两次地面大风个例进行模拟,初步试验其模拟能力。

1 模式概况与个例实况

1.1 模式概况

MM5 是三维中尺度非静力气象模式,

具有多重嵌套功能,垂直方向上采用地形追随坐标(σ 坐标),适用的尺度范围很宽,可以用来模拟中- α 、中- β 、中- γ 尺度系统。模式对各物理过程提供了多种选项,包括降水的物理过程、地表能量的收支、地表边界层的处理和大气辐射的物理过程等。本文使用的是该模式的最新版本 MM5V3.6.1。

1.2 个例实况

个例 1:2001 年 4 月 17~19 日,受冷锋过境影响,从 17 日 08 时起辽宁省北部地区开始出现大风天气,14 时大风区扩展为整个辽宁省中部地区,夜间风速有所减弱,18 日上午又开始加强,14 时以后随着冷锋的南下,全省由偏南大风逐渐转为北风。

个例 2:2001 年 5 月 12~15 日,贝加尔湖东南部为一低压系统加强并东移,我国东海及其东部洋面、朝鲜半岛南部为高压中心,其南部为北上的西马仑(Cimaron)台风系统,辽宁省正处于北部强低压、南部高压系统之间等压线密集区,省内普遍出现偏南大风,从辽东湾向北的辽宁中部平原地区的风速较大,北部地区最大,部分地区的瞬时风速在

$16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。随着强低压的东移,15日开始其影响范围逐渐移出辽宁省,期间南部高压也减弱,省内各地的风速随之减弱。

2 模拟试验方案

2.1 模式主要参数设置方案

本次试验采用套网格方案,分大区、小区两层嵌套进行运算,小区的范围覆盖辽宁省。模式中心经纬度为 41°N 、 122°E ,大(小)区东西向格点数为 52(67),南北向为 42(61),格距 30(10)km,时间步长为 90(30)s。垂直方向取 23 层,模式顶取 10hPa。

模式使用 USGA(U.S. Geological Survey)全球 2min 地形高度和陆面资料,地表分类为 24 类。使用 ECMWF TOGA 全球再分析资料作为初始场和侧边界。模式每小时输出一次,取小区 10m 高度 u 、 v 分量的模拟结果。采用的主要物理过程为: Grell 积云对流参数化方案, MRF 行星边界层方案, 简单冰相方案, 云辐射方案。此外大区采用了松弛流入/流出边界条件, 小区采用时变边界条件。图 1 是模拟区域(小区)的模式地形高度分布图。

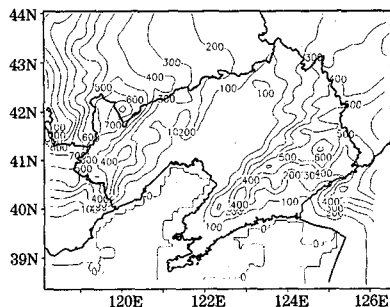


图1 小区地形高度分布(单位:m)

个例 1 以 2001 年 4 月 17 日 00:00 时(世界时)为模式积分初始时间,积分 48h。个例 2 以 2001 年 5 月 12 日 00:00 时(世界时)为初始,积分 72h。

2.2 观测资料的处理

采用彰武、黑山、凌源、铁岭、桓仁、大连、沈阳、辽阳、盘锦、兴城 10 个气象观测站和尖

山子、丹东龙王庙、锦电北山 3 个风电场 10m 高度相应时段的逐时测风资料,图 2 中用标号 1~13 标注了它们的地理位置。这些代表点即代表省内不同地理区域,又代表不同地形区。由于风速变化的瞬时性强,因此文中对各时次的观测风速进行了平滑处理,既将每个时次的风速与相临前后时次的 3 小时平均值作为该时次的实况风速。

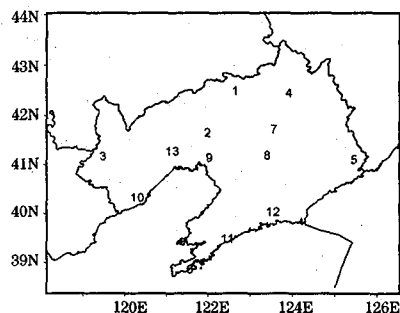


图2 代表点位置示意图

3 模拟效果分析

3.1 对风场的模拟

图 3、图 4 是两个个例 3 个不同时间次的模拟结果。图 3 反映出整个区域风场从一致偏南风(17 日 14 时)到冷锋抵至辽北边境(18 日 14 时),以及冷风过境后全省转为一致偏北风(19 日 08 时)的过程,此过程中辽宁中部平原地区的风速较大。由图 4 可以看出,整个区域各时次均为偏南气流,中部平原地区风速较大(12 日 14 时、13 日 14 时)。另外,图 3、图 4 中还清晰地显示了海上风场的分布和风随海岸线的变化。对两个个例风场的模拟可以看出,模式较好地反映出区域风场的变化和分布特征,与实况比较接近。

3.2 对逐时风速的模拟

表 1 为两个个例中 13 个代表点模拟风速与实况风速的均方差和相关系数。均方差变化范围为 $1.5 \sim 4.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明对逐时风速的模拟与实况还是有一定差异的。相关系数变化范围为 0.21~0.90,其中大于 0.60 的占 58%,说明模式大致能反映出风速的逐

时变化趋势。两个个例中处于山区或沿海的凌源、桓仁、大连、尖山子、锦电北山的相关系数均偏小,可能与这里地形复杂、风速瞬时差

异大有关。从总体上看,个例2的均方差普遍小于个例1,而相关系数全部大于后者,说明对个例2的模拟好于个例1。

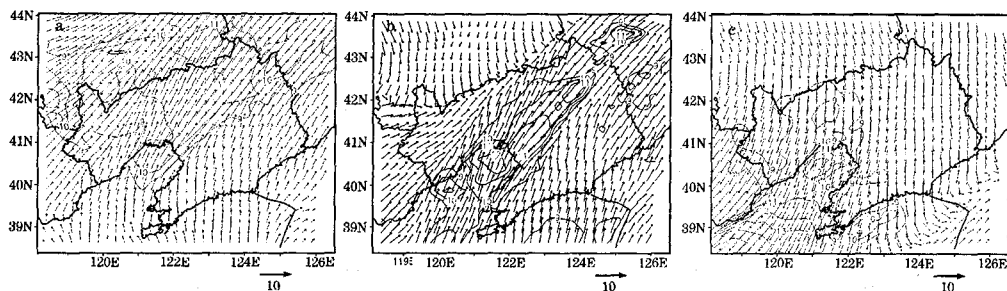


图3 对个例1风场的模型(a)2001年4月17日14时、(b)2001年4月18日14时、(c)2001年4月19日08时(图中绘出了风速 $\geq 9.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等值线)

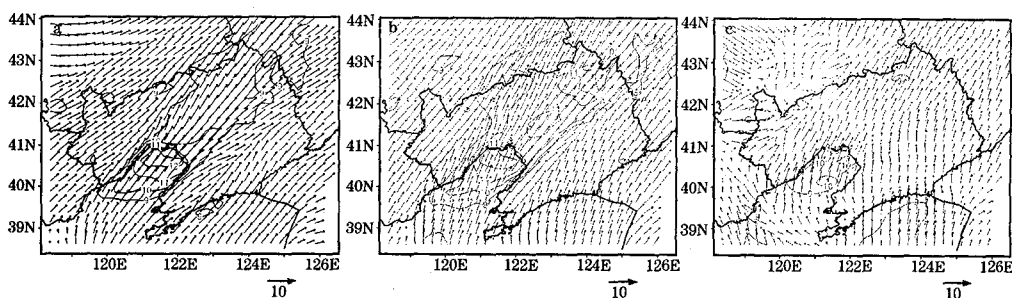


图4 对个例2风场的模型(a)2001年5月12日14时、(b)2001年5月13日14时、(c)2001年5月14日14时(图中绘出了风速 $\geq 9.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等值线)

表1 代表点逐时风速模拟与实况的均方差和相关系数

标号	地点	纬度(N)	经度(E)	代表区域	个例1		个例2	
					均方差 $/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	相关 系数	均方差 $/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	相关 系数
1	彰武	42°25′	122°32′	北部平原	3.5	0.76	2.9	0.90
2	黑山	41°41′	122°05′	中部平原	2.5	0.61	2.3	0.79
3	凌源	41°14′	119°21′	西部丘陵	2.5	0.21	2.8	0.45
4	铁岭	42°18′	123°52′	北部平原	2.5	0.70	1.9	0.78
5	桓仁	41°16′	125°21′	东部山区	1.7	0.41	1.6	0.61
6	大连	38°54′	121°38′	西南部沿海山地	2.5	0.38	1.8	0.53
7	沈阳	41°44′	123°27′	中部平原	2.6	0.53	2.0	0.79
8	辽阳	41°14′	123°10′	中部平原	2.0	0.61	1.9	0.67
9	盘锦	41°17′	121°57′	中部沿海	2.6	0.51	1.6	0.80
10	兴城	40°35′	120°42′	西部沿海平原	2.9	0.57	3.2	0.73
11	尖山子*	39°31′	122°32′	东南部沿海丘陵	2.4	0.21	1.9	0.42
12	丹东龙王庙*	40°03′	123°43′	东南部沿海丘陵	1.6	0.63	1.5	0.75
13	锦电北山*	41°17′	121°16′	西部丘陵	4.5	0.39	3.4	0.60

注: * 为野外风电场测风点

图5是部分代表点逐时风速模拟值与实况的对比曲线。可以看出,虽然各时次模拟

风速与实况有偏差,但两者变化比较同步,模拟值基本反映出风速变化的趋势,基本能体

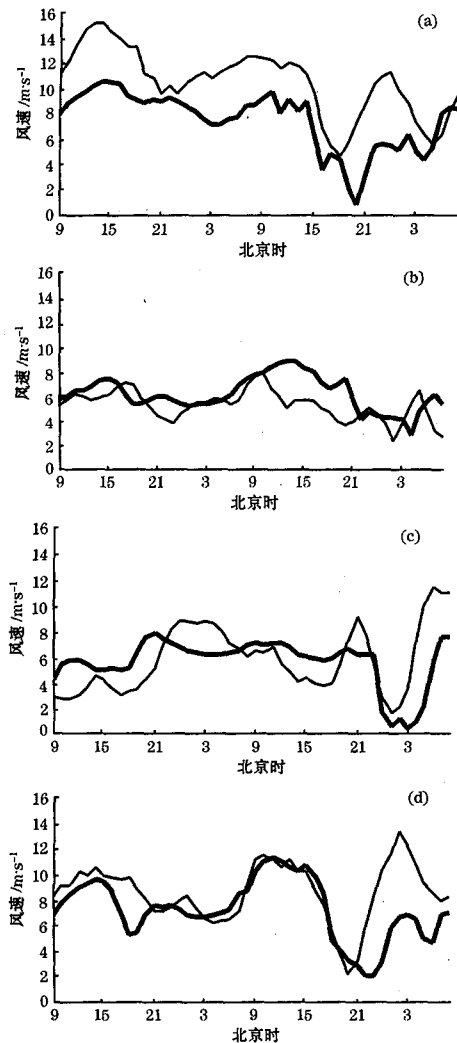


图5 2001年4月17日09时~19日08时彰武(a)、桓仁(b)、大连(c)、沈阳(d)逐时风速的模拟(粗实线)和实况值(细实线)的对比

现风速随时间变化出现波峰或波谷的演变过程,对风速突变的模拟也较好,例如个例1后期出现的风速突然减弱再加强的变化形式与实况比较吻合。同时对比还可以发现,彰武的实况风速在13个代表点中是最大的,但是模拟结果明显偏小,而相关系数却是最大的,模拟值曲线近似于实况曲线的整体向下平移,对其它代表点出现大于 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速的模拟也基本偏小,说明模式虽能较好地模拟出风速变化趋势,但对模拟 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的

较大风速有欠缺,既对大风强度的模拟有一定偏差。

3.3 对平均风速的模拟

表2给出了个例1平均风速模拟与实况的对比情况(个例2的数据略)。可见,平均风速的模拟与实况的偏差一般小于 $3.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;在两个个例积分时效48h(72h)内,对风速的模拟效果随积分时间增加并没有明显变化;对平均风速大于 $9.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的模拟明显偏小(彰武、锦电北山);彰武、黑山、铁岭、沈阳、盘锦、兴城的模拟值在13个代表点中是相对较高的,说明模拟的平均风速基本反映出两次过程中辽东湾附近、中部平原、辽北风速偏大的特点;对凌源、桓仁两个山区地形下风速的模拟均高于实况,这其中可能包含有气象站测风位置不能完全代表山区风速大小的因素,既观测站多建于山底开阔地,风速偏小。

表2 个例1平均风速模拟与实况的对比(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

地点	1~24小时			25~48小时			1~48小时		
	模拟	实况	偏差	模拟	实况	偏差	模拟	实况	偏差
彰武	9.0	12.3	-3.3	6.2	9.0	-2.8	7.6	10.6	-3.0
黑山	8.8	9.0	-0.2	6.7	8.7	-2.0	7.7	8.9	-1.2
凌源	7.6	5.7	1.9	6.9	6.3	0.6	7.2	6.0	1.2
铁岭	9.0	7.0	2.0	7.7	5.9	1.8	8.3	6.4	1.9
桓仁	6.1	5.7	0.4	6.3	4.9	1.4	6.2	5.3	0.9
大连	6.1	5.6	0.5	5.2	6.1	-0.9	5.7	5.8	-0.1
沈阳	7.7	8.5	-0.8	7.0	9.0	-2.0	7.3	8.7	-1.4
辽阳	7.0	6.6	0.4	6.5	5.1	1.4	6.7	5.8	0.9
盘锦	8.3	7.3	1.0	6.8	7.9	-1.1	7.5	7.6	-0.1
兴城	7.7	5.1	2.6	7.7	5.7	2.0	7.7	5.4	2.3
尖山子	5.4	6.3	-0.9	5.5	7.1	-1.6	5.5	6.7	-1.2
丹东龙王庙	4.1	4.1	0.0	4.4	4.5	-0.1	4.2	4.3	-0.1
锦电北山	7.8	10.7	-2.9	6.7	10.8	-4.1	4.3	10.7	-3.4

4 小 结

对2001年4月17~19日、5月12~14日辽宁省的两次大风过程进行模拟试验的效果具有如下特点:

① 模式能较好地反映出区域风场随时间的变化和分布特征,模拟结果与实况比较接近,能够反映出流场形势和风速的大致分

布状况。

② 与代表点逐时实况风速对比,模拟结果的均方差变化范围为 $1.5 \sim 4.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 相关系数变化范围为 $0.21 \sim 0.90$, 其中大于 0.60 的占 58% 。虽然对逐时风速的模拟与实况有一定差异,但模拟值与实况变化比较同步,基本能体现风速随时间变化出现波峰或波谷的演变过程,也就是基本可以反映出风速变化的趋势。对大于 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速的模拟普遍偏小。

③ 平均风速的模拟与实况的偏差一般小于 $3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 在 48h 或 72h 积分时效内,对风速的模拟精度随积分时间增加没有明显变化;对平均风速大于 $9.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的模拟明显偏小,说明模式可能将削弱大风的强度。

初步试验表明,MM5 模式对区域地面大风有一定的模拟能力,特别对风场形势、单

点风速随时间变化特征的模拟较好,有一定的应用价值。

参考文献

- 1 程麟生. 中尺度大气数值模式和模拟. 北京:气象出版社,1994:3~5.
- 2 Anthes, R. A. 宾州 PSU/NCAR 中尺度模式在天气、中尺度气象和气候研究中的应用近况. 气象科技,1991,(1):40~47.
- 3 张立祥,周小珊,李用左等. 非静力模式预报热带气旋路径个例试验. 南京气象学院学报,2000,23(1):73~80.
- 4 安兴琴,陈玉春,吕世华. 中尺度模式对冬季兰州市低空风场和温度场的数值模拟. 高原气象,2002,21(2):186~192.
- 5 姜学恭,孙永刚,沈建国. 一次东北冷涡暴雨过程的数值模拟试验. 气象,2001,27(1):25~30.
- 6 何宏让,潘晓滨,魏绍远等. MM5 微机模式系统的简介和初步应用个例. 气象科学,2000,20(2):161~170.

Simulation Experiments on Surface Gale Process with MM5 Model

Gong Qiang Yuan Guoen Wang Hongyu Qi Lili Bai Lesheng
(Shenyang Institute of Atmospheric Environment, CMA, 110016)

Abstract

Two surface gale events happened in April 17—19 and May 12—14 of 2001 over Liaoning Province are simulated using MM5 model, and the results are compared with wind observation data at 13 sites (meteorological stations and wind farms). The main experiment results are as follows. The model has good quality in simulating the evolution and distribution characters of regional wind fields. The variation trends of wind speed in every hour are nearly the observations, but there are certain differences in values. When instantaneous (average) wind speed is more than $10.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($9.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), the simulation values are lower obviously than the observational data. The preliminary experiments show that MM5 model has better ability to simulate patterns of regional wind fields and local variation characters in every hour, but the intensity of heavy wind speed is decreased.

Key Words: MM5 model surface gale simulation experiment