

郑焘, 李晴岚, 王兴宝, 等, 2018. 台风对深港局地风影响数值模拟及地形敏感性试验[J]. 气象, 44(3): 361-371.

# 台风对深港局地风影响数值模拟 及地形敏感性试验\*

郑 焘<sup>1,2</sup> 李晴岚<sup>1</sup> 王兴宝<sup>1</sup> 肖爱国<sup>2</sup>

1 中国科学院深圳先进技术研究院, 深圳 518055

2 湖南省湘潭大学, 湘潭 411100

**提 要:** 采用 WRF 中尺度模式和美国国家环境预报中心每 6 h 一次的  $1^\circ \times 1^\circ$  全球再分析资料, 分别对西北太平洋 1208 号台风韦森特及 1415 号台风海鸥个例进行了数值模拟, 结果表明 WRF 模式可以较好地模拟台风中心移动的路径与强度变化, 单点风速的时间变化表明模拟得到的近地风场与实际观测吻合。在模式结果与实际观测比较一致的基础上, 开展了改变特定区域内的地形和陆面特征的敏感性试验, 通过比较不同站点的观测和模拟风速的变化, 探究台风影响下香港及深圳地区地形和下垫面性质的改变对深圳不同地区阵风变化的作用, 发现对于登陆粤西或向西移动的台风, 香港地形和陆地的阻挡和摩擦作用减弱了台风在深圳中西部地区引起的风速, 香港对深圳中西部起到了一定的缓冲和保护作用, 另外深圳地区的梧桐山地形所形成的峡口使得盐田港风力增大。

**关键词:** WRF 模式, 热带气旋, 数值模拟, 地形敏感性

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.03.003

## Numerical Simulation of the Local Wind Influence Induced by Tropical Cyclones and Topographic Sensitivity Tests in Shenzhen-Hong Kong Region

ZHENG Tao<sup>1,2</sup> LI Qinglan<sup>1</sup> WANG Xingbao<sup>1</sup> XIAO Aiguo<sup>2</sup>

1 Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055

2 Xiangtan University of Hunan Province, Xiangtan 411100

**Abstract:** Typhoons Vicente (1208) and Kalmaegi (1415) were successfully simulated by the mesoscale weather research and forecasting (WRF) model using the NCEP (National Centers for Environmental Prediction) final operational global analysis data with the resolution of  $1^\circ \times 1^\circ$ . The results showed that the simulated track and intensity of the typhoons are in consistence with Japan Meteorological Agency (JMA) best track data. The simulated surface wind nearly coincides with the station observation. Sensitivity experiments were then carried out to test the impact of terrain and land surface characteristics in Hong Kong and Shenzhen on the wind in Shenzhen area. Based on the sensitivity tests, we found that the wind influence on the Midwest Shenzhen induced by typhoons landing in western Guangdong is weakened by the terrain of Hong Kong. Hong Kong plays a role of slowing winds and protecting the Midwest Shenzhen from typhoons moving westward. Furthermore, it is found that the wind intensity in Yantian international

\* 广东省科技发展专项资金(2016A050503035)、广东省自然科学基金自由申请项目(2015A030313742)和深圳市科技研发资金(JCYJ20150521144320984)共同资助

2016 年 11 月 9 日收稿; 2017 年 5 月 27 日收修定稿

第一作者: 郑焘, 主要从事应用数学研究. Email: 1191875840@qq.com

通信作者: 李晴岚, 主要从事台风预报、数值模式释用、气候变化研究. Email: ql.li@siat.ac.cn

container terminal is enhanced by the channel effect of Wutong Mountain in Shenzhen.

**Key words:** WRF model, tropical cyclone, numerical simulation, topographic sensitivity

## 引 言

作为一种破坏力极强的灾害性天气系统,热带气旋不仅会给所经之地带来严重的经济损失,更威胁着人类的生命安全。赵珊珊等(2015)分析了近 10 年我国热带气旋带来的气象灾害及时空分布特征,发现 2004—2013 年,广东省是热带气旋登陆及灾害发生频次最多的省份。例如 2012 年受台风韦森特的影响,广东省大部分地区出现了持续的强降水,降雨还造成滑坡、泥石流等地质灾害威胁(Chen et al, 2005; Lin et al, 2012)。据统计截至到 2012 年 7 月 25 日 12 时,广东省受灾人数达 82.3 万,因此台风研究对沿海地区的防台减灾工作非常重要。

台风登陆前后是台风环境场、下垫面改变最为剧烈的时段,也是台风结构变化最为强烈的阶段,海陆下垫面及地形强迫等会使登陆期间台风风场分布出现明显变化(Powell and Houston, 1998; Chan and Liang, 2003; 李英等, 2004; Au-Yeung and Chan, 2010; 端义宏等, 2014)。台风登陆前后的路径、强度、结构及风雨的异常变化是台风研究的重点与难点(陈联寿, 2010; 许映龙等, 2015)。陈联寿等(2004)研究表明,台风在运动过程中结构与强度的变化与下垫面的不同属性密切相关。薛霖等(2015)对台风 Meranti 经过海峡地带时强度的增大进行了数值模拟试验,发现由于受特殊地形影响,台风在登陆过程中强度加强的异常现象。台风登陆前后在沿海地区产生强风雨,下垫面的不同特征对沿海地区的风雨会产生重大影响(马玉芬等, 2009; 余沛龙等, 2013; 盛春岩等, 2014)。吴启树等(2005)作了台风碧利斯暴雨影响福建沿海的地形敏感性试验,针对山脉迎风坡的地形坡度与气流正交速度乘积最大时段,讨论了风向,地形与降水的相关特性。姚昊等(2008)利用地形高度场的敏感性试验进一步探究了地形平滑方案与降水强度及时空分布关系。杨仁勇等(2011)的琼州海峡大风数值模拟及地形敏感性试验发现,复杂地形对于局地风速影响关键,海峡中间区域风速会因“狭管效应”而加大。

Li et al(2016)对深圳、香港地区沿海自动气象站在台风影响下多年阵风观测数据进行统计分析,

发现阵风受周边地形环境影响大,无阻挡的地方,风更大;一般说来,台风对香港的沿海自动站风力影响大于对深圳沿海站的影响;深圳三个港湾码头站:盐田港、妈湾港和蛇口码头,在西行台风影响下,盐田港的风力影响最大。Li et al(2016)的研究中指出盐田港、妈湾港和蛇口码头相距不远,最大阵风值相差却很大。风力差异大的可能原因是因为香港岛地形的影响,以及盐田港附近梧桐山峡口地带的的影响作用。但是 Li et al(2016)的研究并没有对此假设进行验证。

本文利用中尺度数值模式 WRF V3.7.1 (weather research and forecasting model)对给华南地区带来严重风雨影响的 1208 号台风韦森特与 1415 号台风海鸥进行了数值模拟,“韦森特”和“海鸥”都是西向移动的台风,是西向移动台风对深圳、香港地区带来严重影响的代表。本研究将利用观测数据对模式输出结果进行验证,在模式结果与观测比较一致的基础上,运用改变地形高度、土地利用类型的方式,探究在台风登陆期间,不同性质的下垫面对深港局部地区的阵风影响,进而通过数值试验验证 Li et al(2016)的分析结论。

## 1 模式与数据简介

WRF 模式是美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)等科研机构研发的新一代中尺度模式和同化系统,WRF 模式系统在预报各种天气中都具有较好的性能,在国内外的气象研究中得到了广泛的应用(章国材, 2004; 王晓君和马浩, 2011; 刘凤梅和李杨, 2011)。数值模式中地形数据的精度对近地模拟风场有直接影响(Carvalho et al, 2012),为精确描述深圳、香港地区的精细地形,尤其是深圳盐田港地区附近梧桐山的峡口地带,本文中的数值模式及敏感性试验中设置了四重嵌套网格以提高地形插值精度,第四层网格分辨率为 1.11 km。图 1a 显示本研究采用的模式区域,图 1b 显示第四层网格(d04)的高程图;图 1c 显示的是第四层网格(d04)的土地利用分类情况(采用 USGS 24 类土地利用数据)。表 1 为本项目数值试验所选择的模式参数方案。数值模拟的初始

场与边界场数据来源于美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的全球再分析资料,该数据集空间分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ,每 6 h 提供一次。台风路径与强度数据来自日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)的最优路径数据(best track data),台风期间自动站气象观测数据来自深圳市气象局的整点小时观测记录。本文涉及自动气象站点包括:蛇口码头(Shekou Ferry Terminal, SFT),妈湾港(Mawan Port, MWP),竹子林站(Zhuzilin Station, ZZL)和盐田港(Yantian International Container Terminal, YICT)。四个站点的

表 1 模式参数方案设计

Table 1 Overview of model configuration

Model	WRF-ARW
模拟区域中心	22.6°N, 114°E
嵌套方案	双向四重嵌套
空间精度	30 km(98×70),
	10 km(118×103),
	3.33 km(220×220), 1.11 km(202×202)
垂直层数	30
时间积分方案	3 阶 Runge-Kutta 方法
土地利用数据	USGS 24 类土地利用数据
边界层方案	YSU 方案
积云对流方案	d01, d02 为 Kain-Fritsch 方案; d03 与 d04 无
辐射方案	Dudhia 短波辐射方案 RRTM 长波辐射方案
陆面过程方案	Noah 方案
微物理方案	kessler 类型

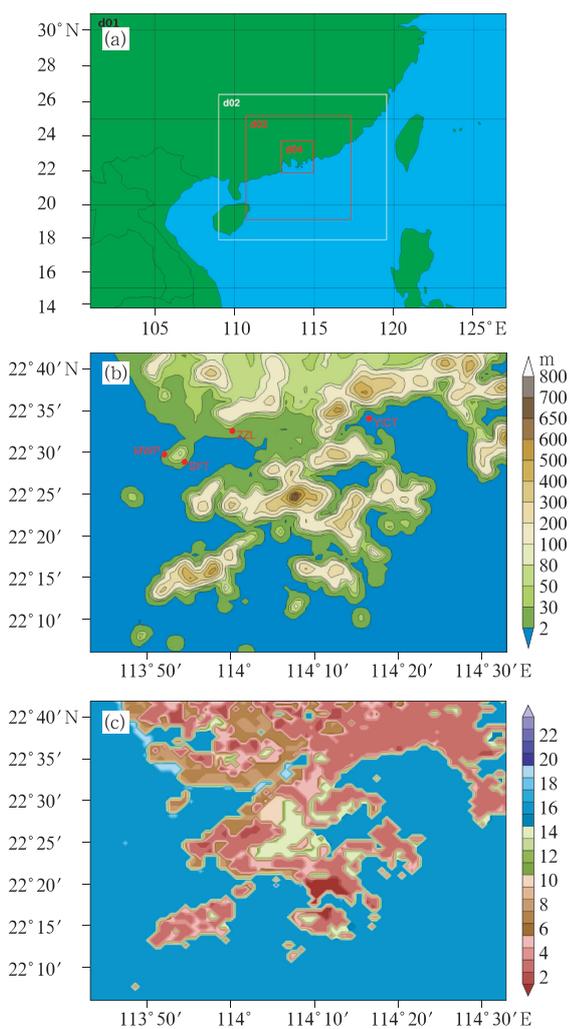


图 1 (a)研究区域设置, (b)d04 区域的高程图, (c)d04 区域的土地利用类型  
Fig. 1 Study domain setting (a), topography height (b), and land use category (c) for nest d04

地理位置见图 1b。台风韦森特(1208)模拟的起始时间为 2012 年 7 月 22 日 00:00:00 UTC,终止时间为 7 月 26 日 00:00:00 UTC,积分时长 96 h。台风海鸥(1415)模拟起始时间为 2014 年 9 月 14 日 00:00:00 UTC,终止时间为 9 月 18 日 00:00:00 UTC,积分时长 96 h。模式结果每 1 h 输出一次。

## 2 台风数值模拟及地形敏感性试验

### 2.1 试验方案设计

为了探究台风登陆期间地形对局地阵风的影响,设计了如下试验方案:

(1) 控制试验(Control Run, CTRL):以“韦森特”和“海鸥”两个台风过程作为控制试验,模式区域设置见图 1a。

(2) 地形影响试验一(Experiment 1, EXP1):将模拟区域中香港下垫面改为大海,同时高程改为 0。如图 2 所示,图 2b 中 16 表示水体,其他方案同 CTRL。

(3) 地形影响试验二(Experiment 2, EXP2):在 EXP1 的基础上去掉梧桐山峡口地形,使梧桐山地区与周围的地形高程相近,如图 3a,其他方案同 EXP1。

(4) 地形影响试验三(Experiment 3, EXP3):在 EXP1 的基础上将梧桐山峡口区域高程增高到原高程基础上的 1.5 倍。如图 3b,其他方案同 EXP1。

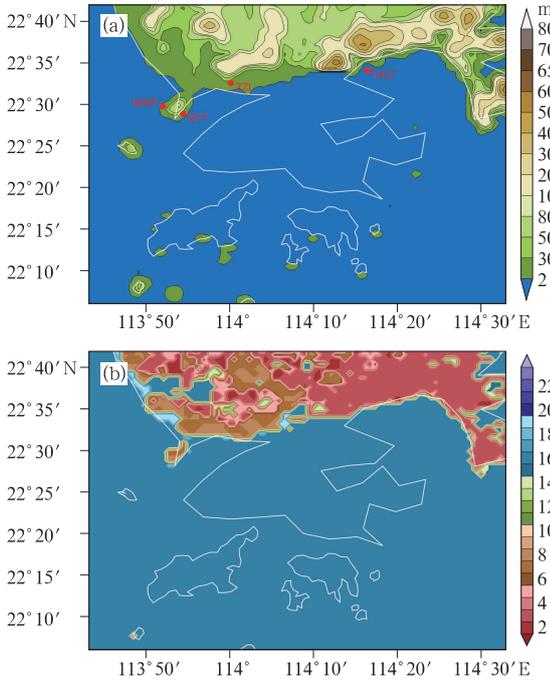


图 2 EXP1 下垫面更改  
 (a)d04 区域高程图,(b)d04 土地利用类型图  
 Fig. 2 Domain modification in EXP 1  
 (a) domain topography height for nest d04,  
 (b) domain land use category for nest d04

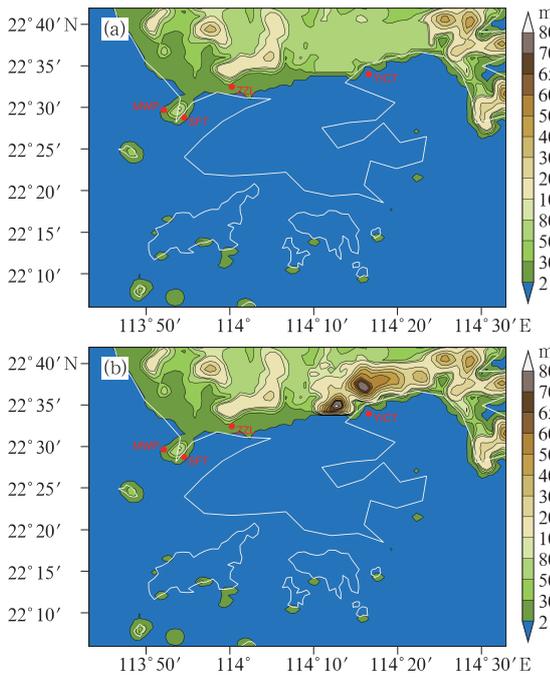


图 3 d04 区域高程修改  
 (a)EXP2 下垫面,(b)EXP3 下垫面  
 Fig. 3 Topography height modification for nest d04  
 (a) EXP 2, (b) EXP 3

## 2.2 控制试验结果分析

### 2.2.1 强度与路径数值模拟结果分析

按第二节中模式设置方案进行台风数值模拟,并对从模拟起始时刻至登陆前后期间的移动路径及中心强度作出分析。模式结果中关于台风的定位与追踪方案采用 SLP(sea-level pressure)分析法(王咏青,2012),即采用最低海平面气压位置确定台风中心。图 4 显示控制试验(CTRL)台风模拟路径(蓝色实心台风符号)与 JMA 最优路径(红色空心台风符号)的移动变化。从表 2 路径误差分析可以看出,台风登陆之前路径误差较小,登陆后的路径误差增大。其次台风中心海平面气压(图 5)与中心最大风速(图 6)的模拟数值(实线)与最优路径数据(虚线)变化趋势一致,总体上看,台风模拟的强度稍强。

### 2.2.2 站点结果对比分析

本文分别对蛇口码头(SFT),妈湾港(MWP),

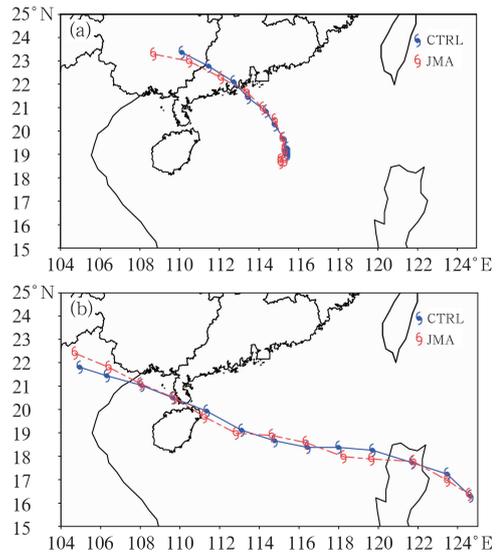


图 4 数值模式模拟台风路径与 JMA 最优路径对比图  
 (a)“韦森特”,2012 年 7 月 22 日 00 时至 24 日 12 时(世界时,下同),(b)“海鸥”,2014 年 9 月 14 日 00 时至 17 日 00 时  
 Fig. 4 Comparison of the simulated TC track and JMA best track data  
 (a) Vicente, from 00 UTC 22 to 12 UTC 24 July 2012, (b) Kalmaegi, from 00 UTC 14 to 00 UTC 17 September 2014

表 2 WRF 模拟“韦森特”、“海鸥”的路径,最大风及中心气压与最佳路径数据的差异

Table 2 Discrepancy of the track, maximum wind and central pressure between WRF model simulation and JMA best track data

“韦森特”(1208)		起报时间: 2012 年 7 月 22 日 00:00:00 UTC		
时间/日-时	路径误差/km	最大风误差/ $m \cdot s^{-1}$	最小气压误差/hPa	
22-00	38.8554	3.6143	-2	
22-06	52.8009	-6.4897	8	
22-12	38.0205	-9.9325	12	
22-18	18.0861	-7.7441	14	
23-00	6.2289	-8.7556	22	
23-06	23.0249	-3.2758	19	
23-12	22.1991	-2.8955	13	
23-18	27.6307	1.2737	2	
24-00	72.9898	-5.512	17	
24-06	110.3215	1.6499	22	
24-12	157.7038	-0.9369	16	
“海鸥”(1415)		起报时间: 2014 年 9 月 14 日 00:00:00 UTC		
时间/日-时	路径误差/km	最大风误差/ $m \cdot s^{-1}$	最小气压误差/hPa	
14-00	11.5273	1.1640	-16	
14-06	28.4537	-6.02	-6	
14-12	8.0052	-1.6632	-8	
14-18	41.4301	3.5487	-1	
15-00	51.2975	-5.2413	1	
15-06	24.7870	-2.9817	7	
15-12	28.6193	-3.5996	6	
15-18	33.6985	-5.6823	13	
16-00	29.4318	-5.2575	11	
16-06	8.4778	2.1747	3	
16-12	10.3927	2.8306	3	
16-18	41.2088	4.2227	5	
17-00	71.2619	5.9966	2	

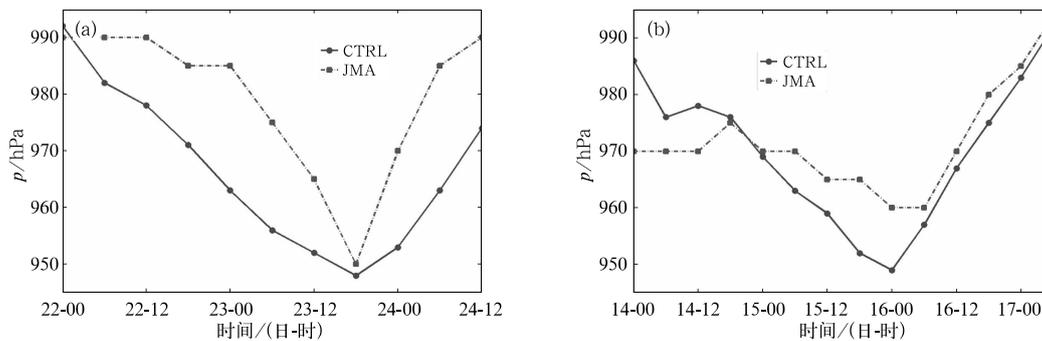


图 5 台风数值模拟最小中心气压与 JMA 最优路径台风中心气压时间序列对比图 (a)“韦森特”,(b)“海鸥”

Fig. 5 Comparison of the time series of TC minimum sea-level pressure between the model simulation and JMA best track data (a) Vicente, (b) Kalmaegi

竹子林站(ZZL)和盐田港(YICT)四个站点的三个气象要素(整点小时地表气压,整点小时地面风速,

24 h 降雨量)的模拟结果与实际观测数据进行分析对比。在台风韦森特登陆过程中,站点气压值逐渐

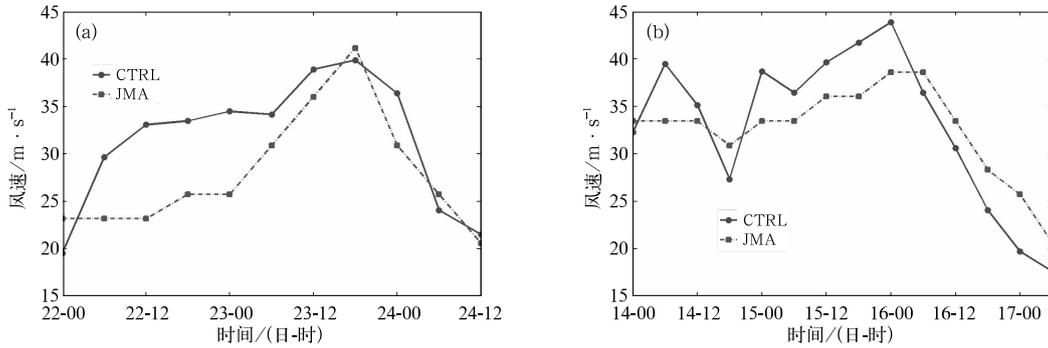


图 6 同图 5, 但为最大地面风

Fig. 6 Same as Fig. 5, but for TC maximum wind

减小, 风速随之增大, 在 23 日 18 时附近达到极值, 之后随着台风中心远离, 站点气压值回升, 风力减弱, 图 7 是台风韦森特期间各站点气压及风场变化时间序列, 其中观测风速选取观测站点的整点小时极大风速值。表 3 列出了两个个例中四个自动气象站点的地表压强与近地风场的极值及对应时间点与误差, 可以看出, “韦森特”个例中站点的气压观测值与模拟结果到达极值时间点仅偏差 1 h (时间点表示在 97 个模拟小时结果中出现极值所对应的序号), 风场极值偏差时间点最大为 4 h, 最低气压误差最大 3.0168 hPa, 风场误差最大  $8.7943 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

受台风韦森特环流影响, 广东省的中南部等地区出现了大暴雨, 短时降雨的强度很大 (如图 8 所示), 其中  $\text{Rain}_{\text{ZZL}} > \text{Rain}_{\text{SFT}} > \text{Rain}_{\text{MWP}}$ 。台风在登陆前及登陆过程中 (台风路径见图 4a), 深圳地区盛行东南风, 比较各气象站位置 (图 1b), MWP 与 SFT 相距很近, 但是 MWP 在背风坡, 所以雨量较 SFT 少一些。另外, 根据以下公式 (吴启树等, 2005):

$$R = - \int_{p_0}^p F \cdot (-p) g \mathbf{v} \cdot \nabla h (dp/g) \quad (1)$$

式中,  $F$  为凝结率,  $p$  为气压,  $\mathbf{v}$  为水平风矢量,  $g$  为重力加速度,  $\nabla h$  为地形高度梯度,  $R$  为山脉爬坡气流造成的降雨量。降雨量与附近地形及风场压强变化密切相关, ZZL 与 SFT 站点位于迎风一侧, 区域的风压相近 (图 7), ZZL 地形梯度相对较大 (图 1b), 所以降雨量也最大。同时在模式的区域风场时序变化 (图略) 中可以看到, 随着风向与地形走势逐渐呈正交趋势, 雨量进一步增大, 在 24 日的降雨量显著。从蛇口码头和妈湾港站点的模拟结果可以看到, 24 日的降雨量几乎是 23 日的两倍多, 模拟结果与实际

观测误差较小, 盐田港站点 24 日的模拟雨量相对较差。

在“海鸥”个例 (图略) 中站点雨量模拟结果一般, 气压与风场的数值模拟结果良好。总的来说, WRF 模式能够较好地模拟出台风的移动路径, 强度变化及区域与站点气象要素的变化特征, 模式结果稳定。

### 2.3 敏感性试验结果分析

图 9 和图 10 给出了风速达到极值时刻附近 (分别对应台风韦森特 2012 年 7 月 23 日 18:00:00 与台风海鸥 2014 年 9 月 15 日 23:00:00) WRF 模式模拟的研究区域风场图, 表 4 给出了地形敏感性试验中单站点最大风速结果, 表 5 表示在风速达到极值附近风向的情况, 其中,  $\alpha$  值为表示风向的方位角。从控制试验模拟的区域风场图可以看到, 在研究区域风速达到峰值时, 该区域盛行东南风, 在 EXP1 中, 香港的高程改为 0 同时下垫面改为大海, 风速达到峰值时, 由于没有了香港的遮挡, 蛇口港与竹子林站的风速 (图 9b, 图 10b 及表 4) 极值及附近区域风场都有所增大; 另一方面, 由于蛇口半岛的存在, 妈湾港位于半岛背风一侧, 其变化相对蛇口码头增幅小。其次对于向西移动的台风来讲, 盐田港的风速受香港影响作用并不显著; 从表 5 中可以看出, 去掉香港岛的影响, 4 个站在“韦森特”及“海鸥”影响下的风, 方位角有系统性的变小。在 EXP2 (图 9c, 图 10c 及表 4) 中, 由于缺失了盐田港附近梧桐山所形成的狭管效应, 盐田港的阵风极值及其附近区域阵风风速相较于 EXP1 有减小。在 EXP3 (图 9d, 图 10d 及表 4) 中, 由于增大了梧桐山之间的地形梯

度,狭管效应增强,梧桐山风速增大,盐田港的阵风极值较 EXP1 增大;梧桐山的峡管效应存在与否

对于四个台站风向方位角不存在系统性的改变情况。

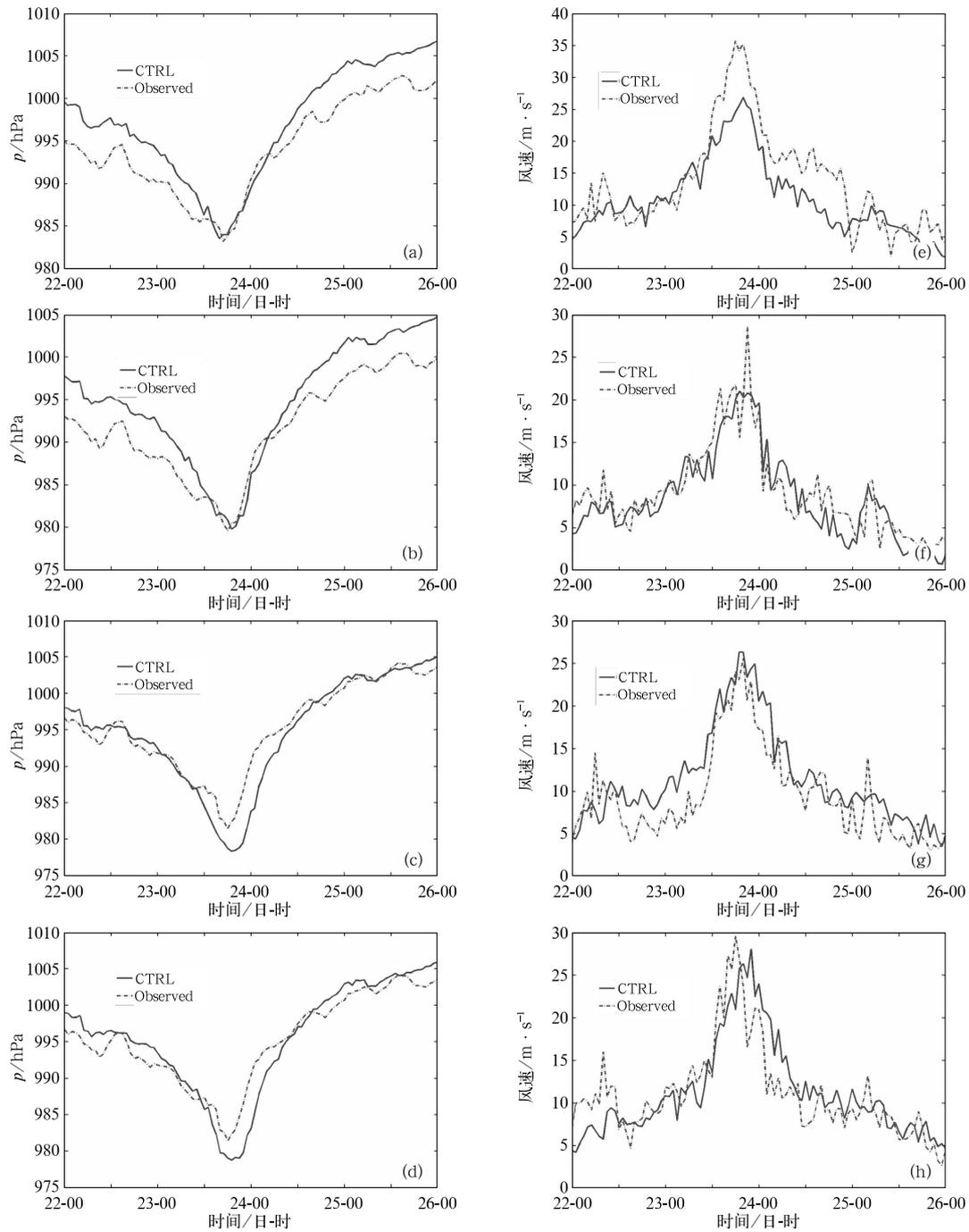


图 7 “韦森特”期间 4 个气象站点表面气压(a,b,c,d),10 m 风(e,f,g,h) 观测与模式模拟对比

(a,e)盐田港,(b,f)竹子林,(c,g)蛇口码头,(d,h)妈湾港

Fig. 7 Comparisons of surface pressure (a, b, c, d) and 10 m wind (e, f, g, h) between observation and model simulation at four AWSs during Vicente (a, e) YICT, (b, f) ZZL, (c, g) SFT, (d, h) MWP

表 3 站点结果分析

Table 3 Analysis of simulations and observations for the four AWSs

“韦森特”(1208)		最低气压/hPa	最低气压时间点/h	最大风速/ $m \cdot s^{-1}$	最大风速时间点/h
盐田港	模拟	983.5489	41	26.9057	45
	实测	983.2000	42	35.7000	43
	差值	0.3489	-1	-8.7943	2
竹子林基站	模拟	979.8088	44	21.0297	44
	实测	979.6000	43	28.7000	46
	差值	0.2088	1	-7.6703	-2
蛇口码头	模拟	978.3832	44	26.3375	45
	实测	981.4000	43	25.6000	45
	差值	-3.0168	1	0.7375	0
妈湾港	模拟	978.7946	44	28.0707	47
	实测	981.4000	43	29.6000	43
	差值	-2.6054	1	-1.5293	4
“海鸥”(1415)					
盐田港	模拟	996.9448	43	19.9807	46
	实测	994.5000	42	29.1000	43
	差值	2.4448	1	-9.1193	3
竹子林基站	模拟	994.3733	39	15.3509	45
	实测	994.6000	45	21.2000	44
	差值	-0.2267	-6	-5.8491	1
蛇口码头	模拟	994.4678	44	18.3768	41
	实测	994.6000	45	22.1000	51
	差值	-0.1322	-1	-3.7232	-10
妈湾港	模拟	995.1682	43	17.1439	44
	实测	995.5000	45	22	44
	差值	-0.3318	-2	-4.8561	0

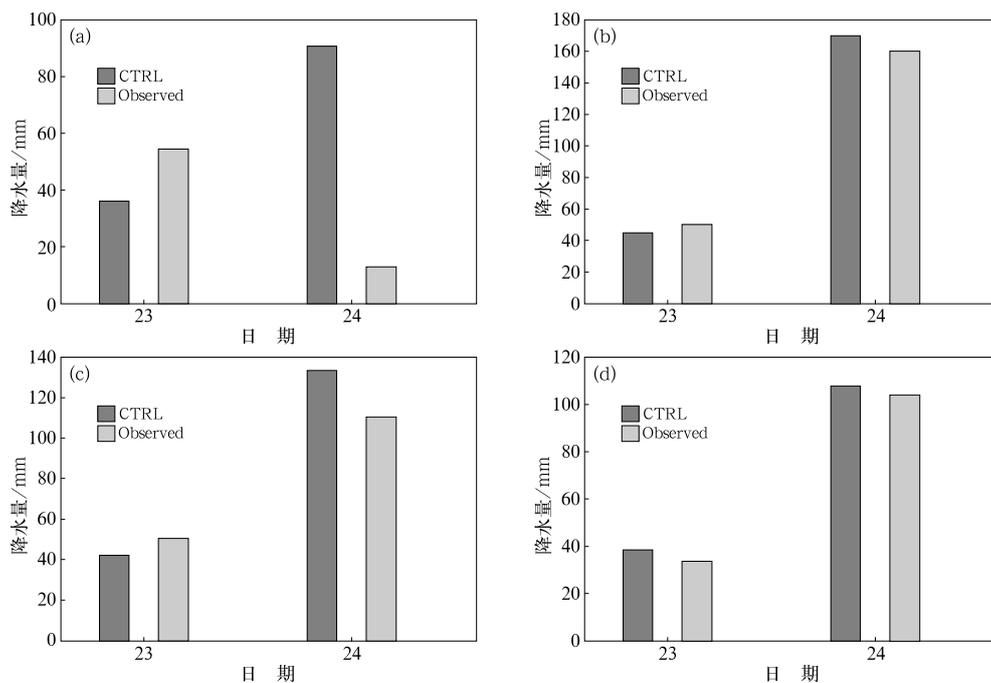


图 8 “韦森特”期间 4 个气象站点降水日观测与模式模拟对比

(a) 盐田港, (b) 竹子林, (c) 蛇口码头, (d) 妈湾港

Fig. 8 Comparisons of daily rainfall between observation and model simulation at four AWSs during Vicente

(a) YICT, (b) ZZL, (c) SFT, (d) MWP

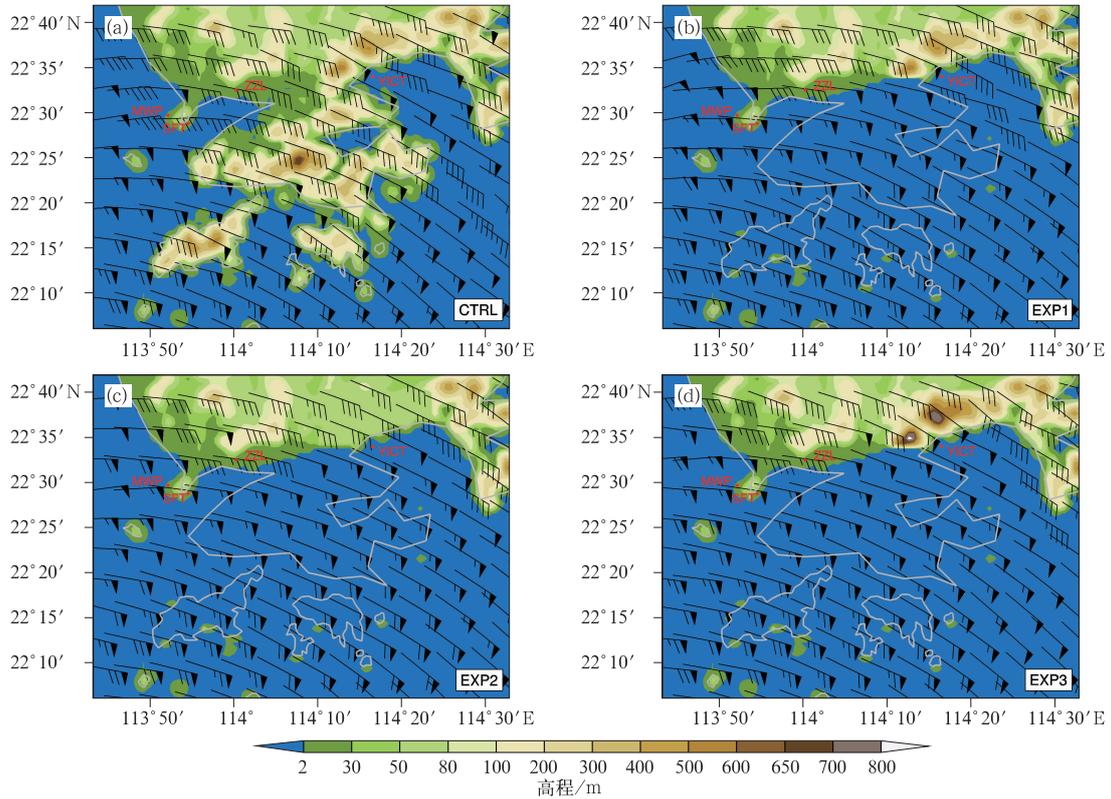


图 9 WRF 模拟“韦森特”台风期间,风影响最大时刻研究区域近地风场  
(a)CTRL, (b)EXP1, (c)EXP2, (d)EXP3

Fig. 9 WRF simulated surface wind pattern in the study area at the most significant moment during TC Vicente period;  
(a) CTRL, (b) EXP1, (c) EXP2, (d) EXP3

表 4 地形敏感性试验中各站最大风比较

Table 4 Comparison of the maximum winds at different stations by terrain sensitivity tests

站点最大风速/ $m \cdot s^{-1}$	站点	CTRL	EXP1	EXP2	EXP3
“韦森特”(1208)	YICT	26.91	27.30	26.22	27.78
	ZZL	21.03	22.82	23.78	24.34
	SFT	26.34	29.59	30.32	30.44
	MWP	28.07	28.62	28.54	27.81
“海鸥”(1415)	YICT	19.98	19.51	18.83	21.31
	ZZL	15.35	16.79	17.16	16.73
	SFT	18.38	21.49	21.53	21.31
	MWP	17.14	20.62	19.99	19.50

表 5 地形敏感性试验中站点风向变化

Table 5 Changes of wind directions at different stations by terrain sensitivity tests

风向变化/ $^{\circ}$	站点	CTRL	EXP1	EXP2	EXP3
		$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
“韦森特”(1208)	YICT	282.0353	279.5366	277.4238	291.2958
	ZZL	270.8250	269.6390	263.5925	269.9945
	SFT	269.9658	269.2953	261.2228	267.4177
	MWP	268.5794	265.8875	264.2384	266.3495
“海鸥”(1415)	YICT	282.1394	280.2761	282.7785	288.1543
	ZZL	275.8354	272.8110	273.3651	276.0054
	SFT	280.5975	274.0213	277.7447	276.6789
	MWP	282.4183	273.8673	277.2153	276.0451

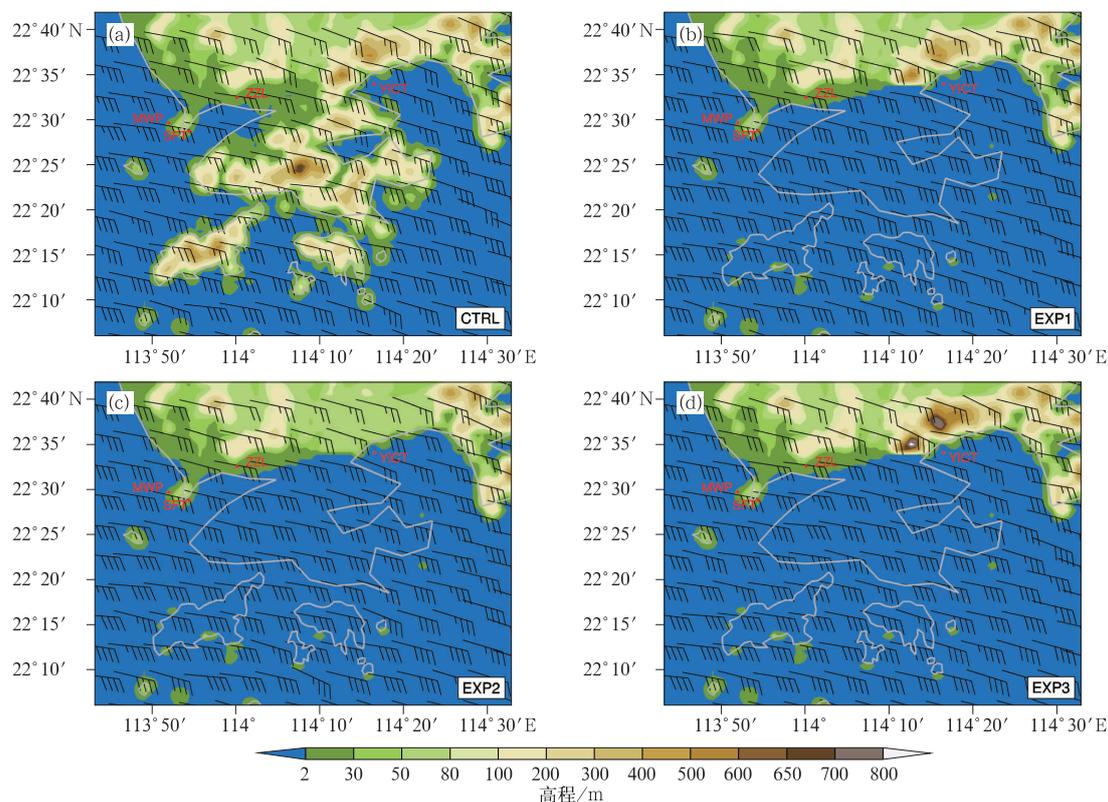


图 10 同图 9, 但为台风海鸥

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for Kalmaegi

### 3 结 论

本文采用 WRF 模式, 探讨了台风韦森特与海鸥登陆期间区域地形对深港近地面阵风极值的影响。在数值模拟结果与实况较为接近的基础上, 进行了地形敏感性试验, 结果表明:

(1) 模式较好地模拟出了台风移动的路径, 强度变化与 JMA 最佳路径基本一致。

(2) 地形和陆面特征是影响深圳、香港地区局地阵风强度的重要因子, 将香港地界改成海域后, 西向移动台风在蛇口码头与竹子林站产生的阵风强度明显增大, 表明台风西向移动过程中, 香港减小了台风对深圳中西部地区的风力影响, 起到了一定的缓冲保护作用。梧桐山地形降低试验 (EXP2) 在香港地域改海试验 (EXP1) 的基础上去除了梧桐山地区的狭管效应, 盐田港阵风极值变小  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右, 在梧桐山地形增高试验 (EXP3) 中, 梧桐山高程增大后, 梧桐山狭管效应进一步加大, 盐田港的阵风强度极值比试验 EXP1 略微加大, 表明梧桐山地带的峡口对盐田港地区阵风强度的确有增大影响。在地形

敏感性试验中, 去掉香港岛的存在, 盐田港、竹子林、蛇口码头、妈湾港 4 个站在“韦森特”及“海鸥”影响下的风方位角有系统性的变小。梧桐山地形高度的改变对 4 个台站风向影响不明显。

### 参 考 文 献

- 陈联寿, 2010. 热带气象灾害及其研究进展[J]. 气象, 36(7): 101-110.
- 陈联寿, 罗哲贤, 李英, 2004. 登陆热带气旋研究的进展[J]. 气象学报, 62(5): 541-549.
- 端义宏, 陈联寿, 梁建茵, 等, 2014. 台风登陆前后异常变化的研究进展[J]. 气象学报, 72(5): 969-986.
- 李英, 陈联寿, 张胜军, 2004. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. 热带气象学报, 20(1): 14-23.
- 刘凤梅, 李杨, 2011. WRF 模式在 Linux 系统下的安装和运行[J]. 宁夏农林科技, 52(12): 239-241.
- 马玉芬, 沈桐立, 丁治英, 等, 2009. 台风“桑美”的数值模拟和地形敏感性试验[J]. 南京气象学院学报, 32(2): 277-286.
- 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[J]. 气象, 40(11): 1338-1344.
- 王晓君, 马浩, 2011. 新一代中尺度预报模式 (WRF) 国内应用进展[J]. 地球科学进展, 26(11): 1191-1199.
- 王咏青, 宋天元, 梁驹, 等, 2012. 西北太平洋台风季节预报的数值模拟[J]. 大气科学学报, 35(1): 24-31.

- 吴启树,沈桐立,李双锦,2005.影响福建沿海的0010号“碧利斯”台风暴雨的地形敏感性试验[J].台湾海峡,24(2):236-242.
- 许映龙,吕心艳,张玲,等,2015.1323号强台风菲特特点及预报难点分析[J].气象,41(10):1222-1231.
- 薛霖,李英,许映龙,等,2015.台湾地形对台风Meranti(1010)经过海峡地区时迅速增强的影响研究[J].大气科学,39(4):789-801.
- 杨仁勇,冯文,许向春,等,2011.琼州海峡大风数值模拟及地形敏感性试验[J].热带气象学报,27(1):95-100.
- 姚昊,潘晓滨,臧增亮,2008.一次鄂西地区暴雨过程中地形敏感性试验研究[J].气象与环境学报,24(5):61-66.
- 余沛龙,王丽琼,张立凤,等,2013.非洲地形对印度夏季风影响的数值试验[J].干旱气象,31(1):10-17.
- 章国材,2004.美国WRF模式的进展和应用前景[J].气象,30(12):27-31.
- 赵珊珊,任福民,高歌,等,2015.近十年我国热带气旋灾害的特征研究[J].热带气象学报,31(3):424-432.
- Au-Yeung A Y M, Chan J C L, 2010. The effect of a river delta and coastal roughness variation on a landfalling tropical cyclone[J]. J Geophys Res Atmos, 115(D19):D19121.
- Carvalho D, Rocha A, Gómez-Gesteira M, et al, 2012. A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy[J]. Environ Modell Softw, 33(7):23-34.
- Chan J C L, Liang X D, 2003. Convective asymmetries associated with tropical cyclone landfall. Part I: f-plane simulations[J]. J Atmos Sci, 60(13):1560-1576.
- Chen C Y, Chen T C, Yu F C, et al, 2005. Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring[J]. Environ Geol, 47(5):715-724.
- Li Qinglan, Xu Pengcheng, Wang Xingbao, et al, 2016. An operational statistical scheme for tropical cyclone induced wind gust forecasts[J]. Wea Forecasting, 31(6):1817-1832.
- Lin J W, Chen Chengwu, Peng Chengyi, 2012. Potential hazard analysis and risk assessment of debris flow by fuzzy modeling[J]. Nat Hazards, 64(1):273-282.
- Powell M D, Houston S H, 1998. Surface wind fields of 1995 Hurricanes Erin, Opal, Luis, Marilyn, and Roxanne at landfall[J]. Mon Wea Rev, 126(5):1259-1273.