

0414 号台风“云娜”的数值模拟^{* 1}

余贞寿

廖胜石

(温州市气象局,温州,325003) (广西壮族自治区南宁市气象局,南宁,530022)

黄克慧 叶子祥 赵放

(温州市气象局,温州,325003)

摘 要

利用美国 CAPS 的非静力高分辨率区域预报模式(ARPS)对 0414 号台风“云娜”进行数值模拟,其中把新一代多普勒天气雷达资料分析引入模式,模拟结果表明 ARPS 模式能较好模拟台风“云娜”的移动路径、中心气压强度变化及台风大暴雨;并利用模式输出的组合反射率与雷达组合反射率资料比较来检验模拟结果。数值模拟结果表明:台风自身结构是引起 0414 号台风西折路径的重要原因;浙南闽北地形对 0414 号台风的影响作地形敏感性试验结果表明:浙南闽北地形使 0414 号台风移动路径出现右偏现象;浙南闽北地形对 0414 号台风强度影响较小,地形对深入内陆后台风强度变化有较明显的影响;浙南闽北地形对 0414 号台风暴雨有增幅作用,降水分布更加不均匀。

关键词: ARPS, 台风, 暴雨, 数值模拟, 地形。

1 引 言

0414 号热带风暴云娜(Rananim)2004 年 8 月 8 日晚在菲律宾吕宋岛东北部的洋面上生成,于 10 日 18:00(北京时)加强为台风,此时其中心位于 22.8°N,126.9°E,中心附近最大风力有 12 级;8 月 12 日 20:00 在浙江省温岭市石塘镇登陆,台风中心风力 12 级以上,并向偏西方向移动,穿过浙江省的台州地区南部、温州地区北部和丽水地区北部;8 月 12 日 21:00 台风的中心位于 28.8°N,119.2°E,中心附近最大风力有 11 级;13 日凌晨已减弱为热带风暴,08:00 风暴中心位于浙江省衢州市境内,最大风力有 9 级;18:00 已减弱为热带低压。

0414 号台风云娜来势猛,强度大,破坏性强,是 1956 年以来在浙江登陆的最强的台风,登陆后路径有明显的西折现象,而且台风降水量大且分布不均,其中乐清的碘头雨量站达到 916 mm,沿海平原地区降水在 200~250 mm,山地丘陵在 350 mm 以上,这其中与地形不无关系。陈联寿等^[1]采用带地形项

的准地转正压涡度方程模式数值试验研究指出,地形可使台风路径出现向右偏移现象。中国学者对台湾岛地形对台风的影响进行了许多研究,孟智勇等^[2]和罗哲贤等^[3]认为地形是引起台风路径偏移的可能原因之一。阎敬华等^[4]利用 TCM-90 资料分析和数值模拟了 9017 号台风(Dot)经过台湾岛时的复杂变化并对其原因及机制进行分析。杨平章等^[5]对台风 Dot 进行数值研究认为,Dot 异常移动路径是台湾岛地形诱生低压发生发展的结果。郑庆林等^[6]对东南沿海地形对 9216 号台风暴雨增幅作用进行数值研究。王鹏云^[7]对台湾岛地形对 9608 号台风暴雨影响的数值研究表明,台湾山区两侧地形对台风中心东南方气旋式环流的辐合抬升使台湾暴雨增幅 6 倍多。陈联寿等^[8]对登陆热带气旋研究进行综述,指出陆地山脉地形的强迫作用将使华东登陆台风中心北侧雨量增强,并使大范围雨区主要出现在台风中心北侧,形成台风中心南北雨区和雨量的不对称分布。钮学新等^[9]研究地形对 0216 号台风降水的影响指出,地形作用使迎风坡降水增大,背

* 初稿时间:2005 年 2 月 23 日;修改稿时间:2005 年 4 月 23 日。

资助课题:浙江省气象科技集资重大项目(2004 ZD 05)和温州市科技局重点资助项目(S2003A011)。

作者简介:余贞寿,男,1978 年生,浙江淳安人,硕士,现从事台风、暴雨数值预报技术研究和应用。

风坡降水减小。

浙南闽北地形复杂,山脉的走向多同台湾岛地形,呈东北西南走向,本文拟在成功模拟 0414 号台风移动路径及风雨分布情况下,进行地形数值敏感性试验来研究浙南闽北地形对云娜台风路径、强度及降水的影响。

2 模式及模拟方案简介

ARPS 模式是美国 Oklahoma 大学的风暴分析和预报中心(CAPS)研发的非静力高分辨率区域预报系统^[10]。ARPS 模式非常适用于时空尺度很小的中、小尺度和风暴尺度的天气系统的数值模式^[11],ARPS 模式采用广义地形坐标系统,Arakawa-C 交错水平网格和二阶蛙跳时间积分方案,含有云微物理过程,次网格尺度湍流等物理过程。ARPS 模式系统主要由地表信息(ARPSTRN 和 ARPSSFC)和背景场处理模块(EXT2ARPS),资料同化分析系统(ADAS),时间积分计算模块(ARPS)以及后处理图形输出模块(ARPSPLT)等几部分构成。其中,资料分析系统通过读入背景场资料和地面及探空观测资料进行客观分析,读入雷达和卫星资料调整水平风场和相对湿度场以及微物理水汽变

量场,启动复杂云分析模式,最后形成动力协调的高质量初始场。

本文模式区域中心为 28.0°N,120.5°E,采用两重网格,水平网格距分别为 36 和 12 km,东西向格点数和南北向格点数均为 121,垂直分 35 层,垂直分辨率为 400 m,积分步长为 18 s,地形分辨率为 30''(约 1 km),来源于 EROS 数据中心。对流参数化方案采用 Kain-Fritsch 方案,采用显式大尺度凝结处理;边界层参数化方案采用 Blackadar 方案;侧边界采用时间可变结合 Radiation 侧边界方案。

模式的初值场和边值场均采用 NCEP 1°×1°的 AVN 格点资料,时间间隔为 6 h,利用 ARPS 的资料分析系统 ADAS 把地面报、探空资料及温州新一代多普勒雷达资料中的基本反射率和径向风速加入到初始场中,模式从 12 日 00:00Z 开始积分,之后每隔 6 h 将温州新一代多普勒雷达资料中的基本反射率和径向风速再通过 ADAS 分析引进模式形成新的初值和边值,继续积分,模式积分 30 h。雷达资料扫描范围:方位角 0°~360°,仰角 0.5°~19.5°,反射率、速度距离库长分别为 1 km 和 0.25 km,最大距离库数分别为 460 和 920,本文针对 12 km 区域(图 1a)的模式结果作分析。

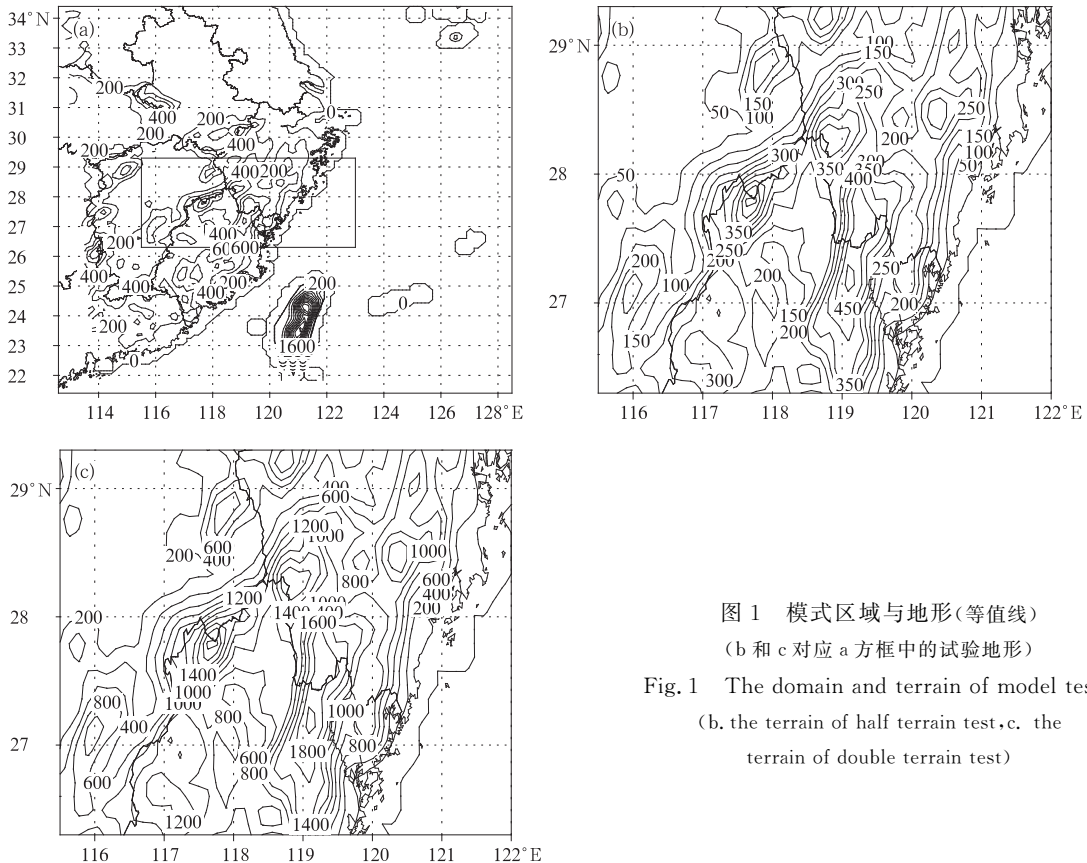


图 1 模式区域与地形(等值线)
(b 和 c 对应 a 方框中的试验地形)
Fig. 1 The domain and terrain of model test
(b. the terrain of half terrain test, c. the terrain of double terrain test)

3 数值模拟结果分析

3.1 0414 号台风路径的数值模拟与检验

图 2 给出 ARPS 模式模拟的 0414 号台风路径和国家气象中心的客观定位路径,模式台风中心位置由整层平均的流场气旋中心确定,从模拟结果与客观定位比较,ARPS 模拟的登陆地点比实际稍偏南,但与客观定位非常接近,并且能够很好地模拟出台风在台州玉环境内登陆后西折路径。登陆后台风路径先是有明显西折,登陆 6 h 后,向西北方向运动,登陆 9 h 后,朝西北偏西方向移动。从登陆后 24 h 走向看,ARPS 模式模拟的台风路径与实况非常接近,最大距离差约为 50 km。因此,本文中 ARPS 模式对 0414 号台风路径的模拟是成功的。

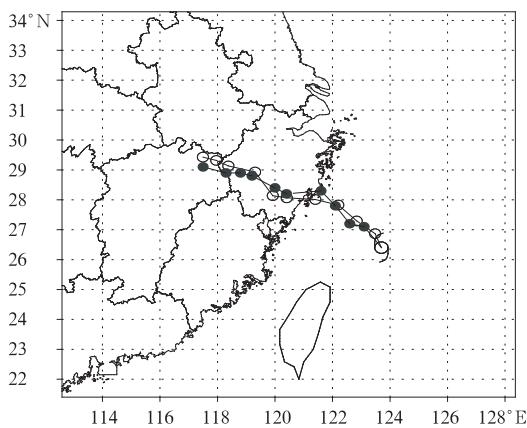


图 2 控制试验模拟的 0414 号台风的路径(空心圆)与国家气象中心客观定位路径(实心圆)

Fig. 2 The track of typhoon Rananim simulated (blank circle) and observational track analysed by NMC (soild circle)

3.2 0414 号台风强度的数值模拟与检验

台风中心气压强度预报对大风预报有重要参考作用。图 3 是 ARPS 模式模拟的台风中心气压强度变化与国家气象中心发布的实况结果,0414 号台风强度的数值模拟结果表明,登陆前的强度变化比较小,登陆后中心气压强度迅速减弱,这与实况较为一致,但 ARPS 对 0414 号台风登陆前后的模拟均偏弱,这与本文试验中没有人工干预,即采用 Bogus 技术,将模式起报时台风中心位置、中心气压订正到初始场不无关系。但 ARPS 模拟 0414 号台风强度强弱的变化过程还是比较成功的。

3.3 0414 号台风的雨量数值模拟与检验

图 4a, c, e, g, i 为每 6 h 模拟降水量场,图 4b, d, f, h,

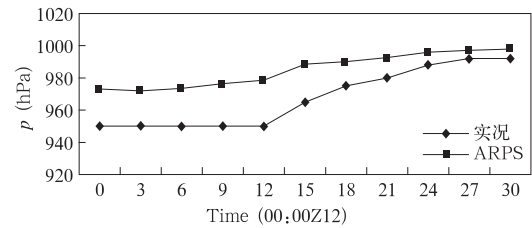


图 3 模拟的 0414 号台风中心强度变化与实况
Fig. 3 The center intensity variation and observation

j 为对应时段实况降水量场。可以看出,降水中心基本上是随台风的移动及强度的变化而移动变化的,每一时段的降水中心基本上与路径一致或略偏右前方,暴雨落区在台风的西北象限。在模拟的 0~6 h (图 4a),台风中心还在海上,没有带来很强的降水过程,最大降水量也只有 40 mm。模式模拟的 6~12 h (图 4c),随着台风的移近,陆上的降水范围和强度在逐渐加大,模拟图上,台风的眼区清楚,螺旋雨带结构也非常清晰,在西北象限略有气旋式旋转,浙江台州东南部及温州北部的强降水中心与实况较接近,雨量分布轴线与地形走向相一致。模拟的 12~18 h (图 4e),是台风刚登陆后的时段,台风移入内陆后向偏西方向移动,降水进一步增强,螺旋雨带的中心也移到陆地上,浙江台州东南部及温州北部的强降水中心进一步加强,随着台风向偏西方向移动,雨带开始向西南扩张,在温州西南山区、丽水南部及福建北部出现强降水中心。进一步对比分析发现,特大暴雨的主要降水时段是在模拟的 6~18 h,这时正值台风登陆前后 12 h,台风从海上带来了充沛的水汽,加上地形与陆面过程等因素的相互作用,降水强度极大,降水时间也极为集中,浙江中部和西南部的强降水中心的形成主要是这一时段的贡献。模式很好地模拟出了这一时段的降水强度和位置。18~24 h (图 4g),台风由向偏西方转为西北偏西方向移动,台风中心的降水依然明显,台风开始减弱,因为受下垫面的影响,螺旋雨带结构开始变得不对称。24~30 h (图 4i),由于深入内陆较深和时间较长,台风减弱为低压,降水亦随之明显减少,但仍然在福建的西北部形成了一个强降水中心,此时模拟的中心位置较实况偏东,强度偏小。总的来说,ARPS 模式比较成功的再现了这次台风降水过程的特点,不仅模拟的强降水中心位置和强度比较一致,而且很好的模拟出了整个台风雨带的结构特征。

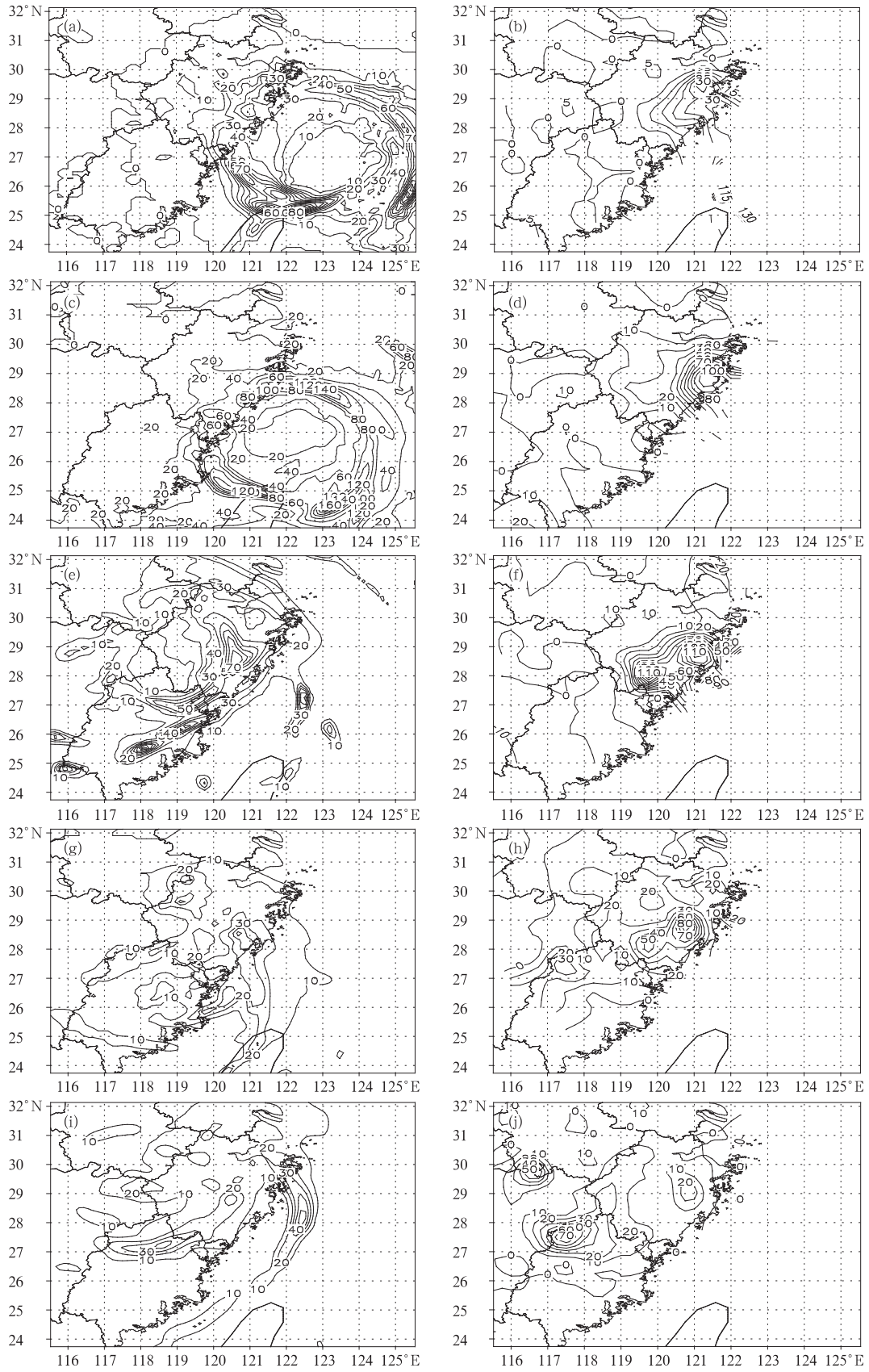


图4 控制试验模拟的0414号台风逐6h的累计降水(a,c,e,g,i)与观测降水(b,d,f,h,j)(单位:mm)

Fig. 4 The 6-hour accumulated precipitation simulated by ARPS model(a,c,e,g,i) and observed rainfall(b,d,f,h,j) (unit: mm)

3.4 0414 号台风回波的模拟与检验

朱佩君等^[12,13]指出,地面气象站和雨量站的分布很不均匀,同时测站降水资料还存在“代表性”问题,常会影响到模拟结果的检验。雷达资料具有均匀分布密度,其空间分辨率大大高于地面测站的分布,与中尺度模式的空间分辨率较接近。因此,运用雷达资料作为检验的标准可以很好地避免雨量资料的不均匀性和代表性问题。本文运用模式输出的组合反射率与雷达组合反射率资料比较来检验模拟结果。由于雷达资料是准 6 min 一个体扫,这里取最接近整点资料作为整点资料。

12 日 06:00Z(台风登陆前 6 h),台风中心在海上,从模式模拟的回波(见 913 页彩图 5a)看到,回波呈环状结构特征,有明显的无回波台风眼,台风西侧螺旋云带分布有强度 >40 dBz 的回波带,对应着螺旋带上的强对流单体,与雷达观测(彩图 5b)强度 >40 dBz 回波分布较相似;在台风东侧海面上也有强回波带随着台风移动而向台温地区。12 日 12:00Z(台风登陆时),从模式模拟的回波(彩图 5c)看到,回波呈“9”字形分布,台风西北象限强回波 (>40 dBz) 位于台温地区,东南象限强回波 (>40 dBz) 在浙东南海面上,与雷达观测(彩图 5d)回波分布非常一致,只是在东北象限回波比雷达观测回波稍偏弱。12 日 18:00Z(台风登陆后 6 h),从模式模拟的回波(彩图 5e)看到,随着台风深入内陆,台风登陆时位于浙东南海面上台风强回波 (>40 dBz) 主体也移到陆地上,强回波分布范围扩大,其中温州北部和台州西南部回波强度 >45 dBz,与雷达观测(彩图 5f)回波分布非常相似。总之,无

论从回波强度形状还是分布及移动模式模拟的回波都与温州雷达观测相一致,模拟的强回波与强降水中心位置有很好的对应关系,只是雷达观测回波结构更为精细。用模式大气中的水物质所制作的组合反射率不失为一种对模拟结果进行检验的有效手段。

4 地形对 0414 号台风影响的敏感性试验

4.1 地形敏感性试验设计

上面分析表明,本文采用的 ARPS 能够很好地模拟 0414 号台风登陆前后的路径及台风降水,这为研究浙南闽北地形对 0414 号台风的影响奠定了基础。为研究地形对 0414 号台风影响,本文设计 3 个地形试验方案:(1)控制试验(CTL),即为前面的数值模拟试验;(2)地形减半试验(HT),即从地形数据集中读取 $30''$ (约 1 km)的地形后,把浙南闽北 ($26.3^{\circ}\sim 29.3^{\circ}\text{N}$, $115.5^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$) 的模拟地形高度减小到实际地形高度的 1/2(图 2b),其他同控制试验;(3)地形加倍试验(DT),即从地形数据集中读取 $30''$ 的地形后,把浙南闽北的模拟地形高度增高到实际地形的 2 倍(图 2c),其他同控制试验。

4.2 地形对 0414 号台风强度及结构的影响

图 6a 给出台风登陆后 3 h 过台风中心扰动气压变化,比较 3 个数值试验,对台风强度的影响不明显,尤其是 HT 试验和 CTL 试验扰动气压分布非常一致,3 个试验模拟的台风中心气压也非常接近(图略)。但台风登陆后 12 h 过台风中心扰动气压变化差异明显,图 6b 中 CTL 试验,台风中心扰动气压呈蘑菇状向下开口,地形减半试验与之类似,但开口要大些,而地形加倍试验,台风中低层气压强度显著减

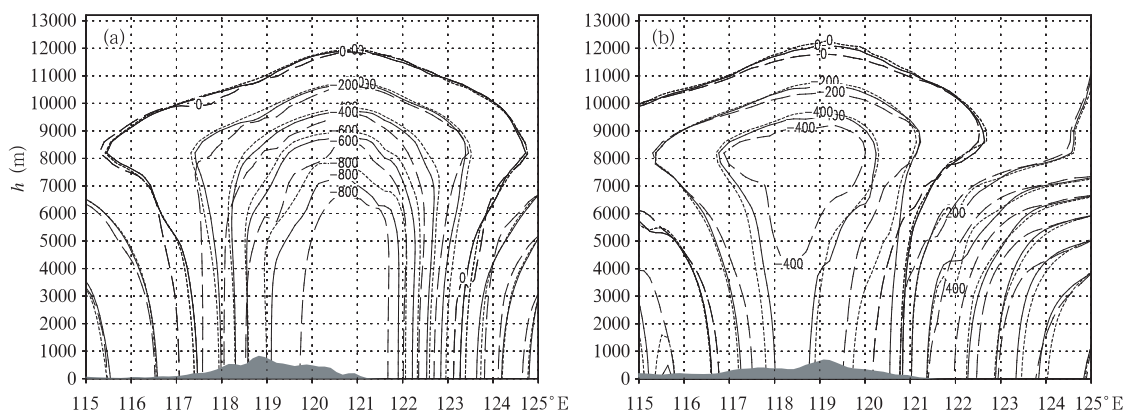


图 6 数值试验模拟的过 0414 号台风中心的扰动气压垂直剖面
(短虚线:HT,实线:CTL,长虚线:DT; a. 登陆后 3 h, b. 登陆后 12 h)

Fig. 6 The altitude-longitude cross section of perturbation pressure along typhoon center
(short dash line: HT, solid line: CTL, long dash line: DT; a. 3 hours after landfall, b. 12 hours after landfall)

弱,并在中高层形成闭合中心,台风前部降压慢,台风后部升压快。因此,台风登陆后,越伸入内陆,地形相对要高,也更复杂些,地形对台风强度影响也是后面比前面明显。图 7 是数值试验模拟的 0414 号

台风登陆后 3 h 的 500 hPa 全风速,台风的东北象限是西南象限风速的 2 倍多,呈以东北西南向为长轴的椭圆型分布。比较图 7a,b,c 可知,随着地形升高,台风的西北象限风速减弱明显。

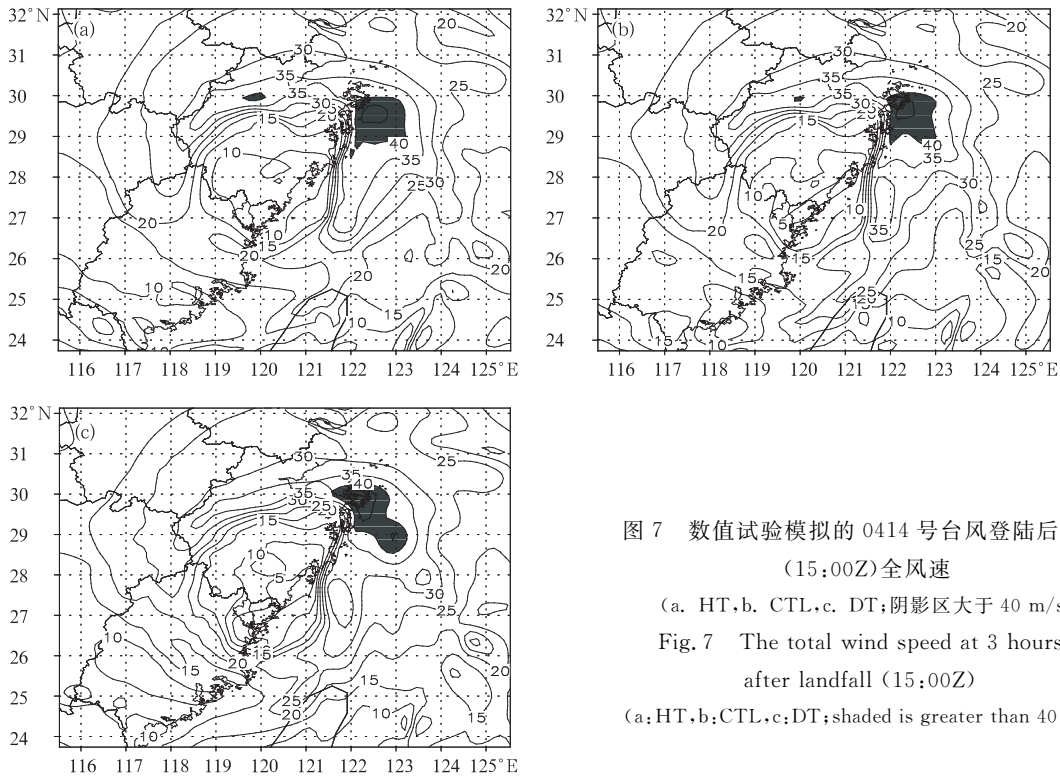


图 7 数值试验模拟的 0414 号台风登陆后 3 h (15:00Z)全风速
(a. HT,b. CTL,c. DT;阴影区大于 40 m/s)
Fig. 7 The total wind speed at 3 hours after landfall (15:00Z)
(a. HT,b. CTL,c. DT; shaded is greater than 40 m/s)

4.3 地形对 0414 号台风移动路径的影响

从 3 个数值试验模拟的台风路径(图 8)看, ARPS 模拟的登陆地点偏北,而且地形越高,模拟的登陆地点越北,并且均能模拟出台风在台州玉环境内登陆后的西折路径,模拟的台风移动路径越偏北,也就是台风路径有向右偏移现象,这与陈联寿等^[1]指出的地形会使台风路径向右偏移的结论相一致。从试验结果对比分析可知,浙南闽北地形对 0414 号台风移动路径有影响,但是不足以改变 0414 号台风登陆后西折移动路径。陈联寿^[14]指出台风内部的非对称结构往往是引起台风异常运动的一个因素。从控制试验模拟台风登陆时的 850 和 500 hPa 风矢量场(图 9)可见,风速在台风中心的东北象限最大,西南象限最小,呈 NE-SW 向非对称分布。加密观测资料数值试验研究^[15]表明这种非对称分布型的台风往往使台风呈现偏西运动。因此,台风自身的 NE-SW 向非对称性结构可能是造成 0414 号台风登陆后偏西移动路径的一个重要因素。

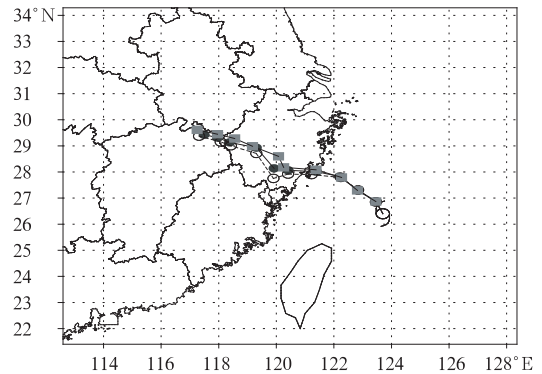


图 8 数值试验模拟的 0414 号台风路径
(空心圈为 HT,实心圈 CTL,正方形为 DT)
Fig. 8 The simulated track of typhoon Rananim
(HT: blank circle; CTL: solid circle; DT: square)

而地形试验对 0414 号台风的结构分析表明,因地形作用,台风的西北象限风速减弱,不利于台风向偏西移动。

4.4 地形对 0414 号台风降水的影响

分析地形试验中降水的差值分布,发现地

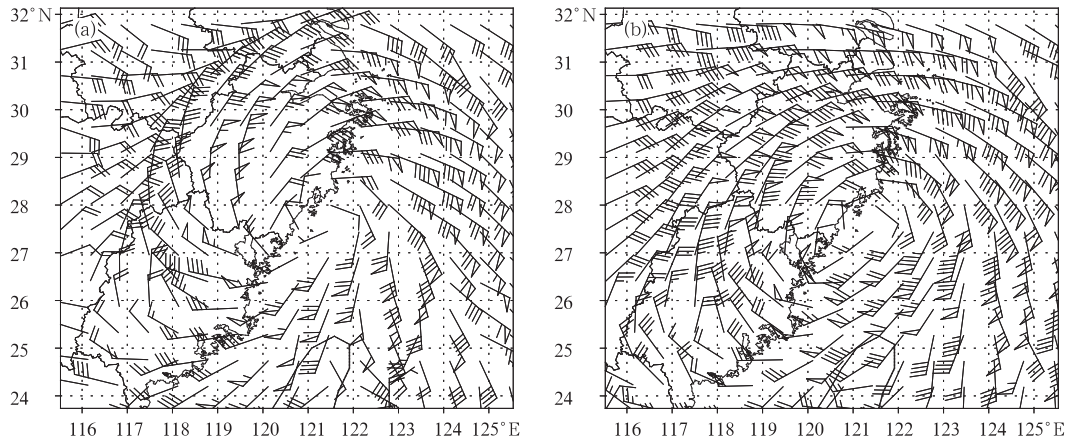


图9 控制试验模拟的0414号台风登陆时(8月12日12:00Z)风矢量场(a. 850 hPa, b. 500 hPa)

Fig. 9 The wind vector field simulated by model at 850 hPa (a) and 500 hPa (b) at typhoon landfalling (12:00Z)

形减半后,台风登陆前12 h(图10a),台州东南部及温州北部的强降水中心的降水量减少20 mm以上,台风登陆后18 h(图11a),台州东南部及温州北部的强降水中心的降水量减少30 mm以上,其他强降水中心的降水量也有不同程度的减少,如福建西北部降水减少30 mm以上;相反,地形加倍后,台州东南部及温州北部的强降水中心的降水量增加30 mm以上(图10b),台风登陆后18 h(图11b),台州东南部及温州北部的强降水中心的降水量增加30~60 mm,其他强降水中心的降水量也有不同程度的增加,如福建西北部降水增加30 mm以上。比较图11a和图11b可知,地形使台风降水分布更加不均匀,地形加倍后,产生很多小的降水中心。地形试

验区中有地方降水减少,还有地方降水增加,从前面地形分布(图1)可知,在迎风坡对应降水是增加的,背风坡上降水是减少的,这与钮学新等^[9]研究结果是一致的。由垂直速度差值分布可知,在地形作用下,地形加倍时(图12b),暴雨中心处中低层垂直速度增强明显,高层减弱;地形减半时(图12a),暴雨中心处中低层垂直速度明显减弱,高层强弱相间,大体上与地形加倍时相反;在迎风坡上,地形抬升作用明显,中低层辐合加强,有利于暴雨增幅。对比登陆前后雨量差值分布可知,地形对台风登陆后的影响强于登陆前。整个模拟过程,地形减半可使降水量减少1/3,地形加倍可使降水量增加1/3~1/2。

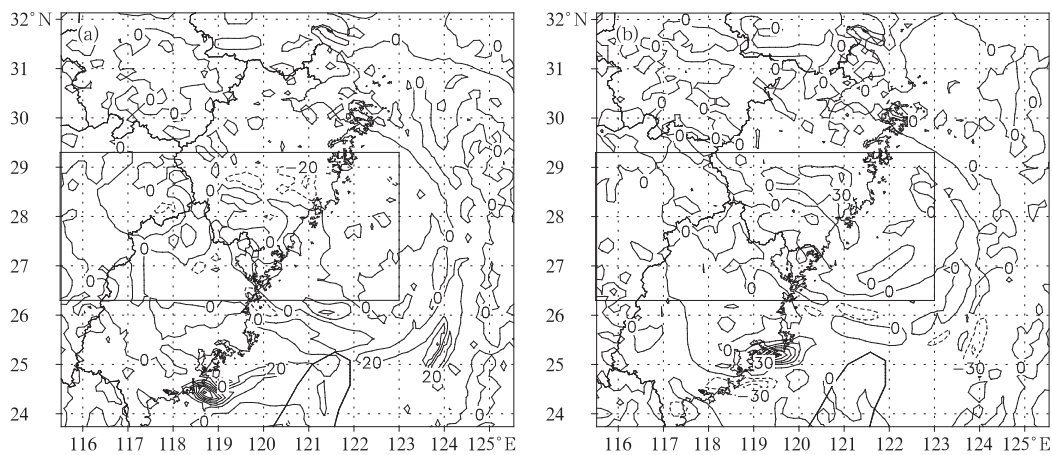


图10 数值试验模拟的0414号台风登陆前12 h台风降水差值分布

(a. HT-CTL, b. DT-CTL; 单位: mm)

Fig. 10 The 12 hour precipitation difference before typhoon landfall

(a: HT-CTL, b: DT-CTL; unit: mm)

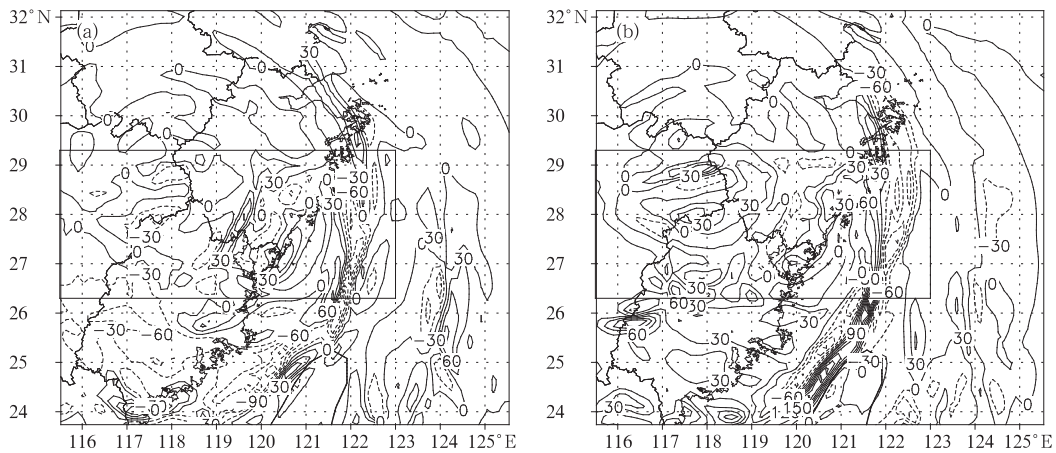


图 11 数值试验模拟的 0414 号台风登陆后 18 h 台风降水差值分布
(a. HT-CTL, b. DT-CTL; 单位: mm)

Fig. 11 The 18 hour precipitation difference after typhoon landfall
(a: HT-CTL, b: DT-CTL; unit: mm)

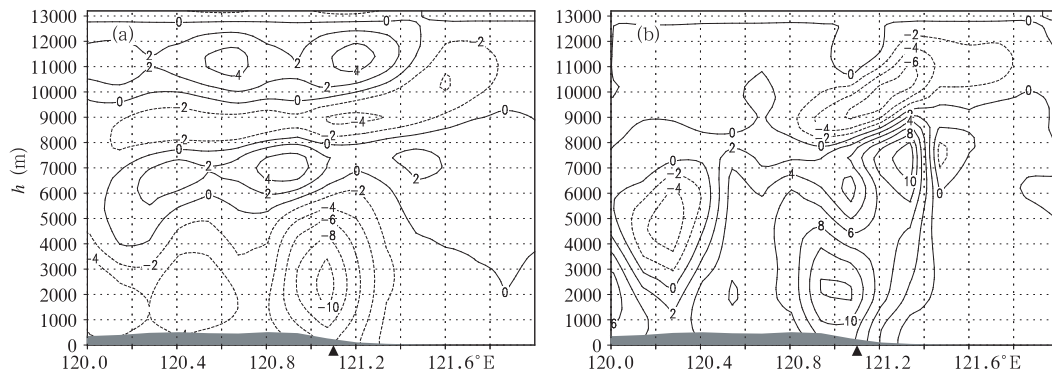


图 12 数值试验模拟的 0414 号台风登陆时经过温州、台州、暴雨中心垂直速度差值的垂直剖面
(a. HT-CTL, b. DT-CTL; ▲为该时刻前后台风暴雨中心所在位置; 单位: $\times 10^{-2}$ m/s)

Fig. 12 The cross Wenzhou-Taizhou rainstorm section of vertical velocity at typhoon landfall
(a. HT-CTL, b. DT-CTL; Δ is location of rainstorm; unit: $\times 10^{-2}$ m/s)

5 结 论

本文利用非静力中尺度模式 ARPS 对 Ranim(0414) 台风登陆过程进行 30 h 模拟, 与实况进行对比分析, 并就浙南闽北地形对台风影响进行数值试验研究, 得到如下结论:

(1) 新一代天气雷达资料应用于 ARPS 模式能够成功再现 0414 号台风的移动路径、强度变化及台风暴雨的雨量和分布, 为 0414 号台风西折原因及台风暴雨等问题的研究提供高时空分辨率的资料; 利用模式大气中的水物质所制作的组合反射率与雷达组合反射率比较是一种对模拟结果进行检验的有效的手段。

(2) 地形敏感性试验表明, 浙南闽北地形对

0414 号台风强度影响较小, 但随着台风深入内陆, 影响加大; 地形越高, 台风中心经过时, 台风强度减弱越明显。

(3) 数值试验和地形敏感性试验表明, 0414 号台风自身非对称结构是台风西折移动路径形成的重要原因之一; 浙南闽北地形使 0414 号台风的西北象限风速减弱, 移动路径出现右偏现象, 并且地形越高, 右偏程度越强。台风非对称结构变化对台风移向影响的可能机制有待进一步深入研究。

(4) 地形敏感性试验表明, 虽然地形对台风中心气压稍有减弱, 但暴雨中心处的中低层垂直速度增强明显; 浙南闽北地形对 0414 号台风暴雨有增幅作用, 地形越高对暴雨增幅越明显, 降水量分布更加不均匀。

致谢: 美国 Oklahoma 大学薛明教授和中国科学院大气物理研究所的高守亭研究员及其小组成员对调试 ARPS 模式提供了帮助; 南京信息工程大学的寿绍文教授对本文提出了意见和建议, 在此一并表示感谢!

参考文献

- [1] 陈联寿, 徐祥德, 罗哲贤等. 热带气旋动力学引论. 北京: 气象出版社, 2002. 200~204
Chen Lianshou, Xu Xiangde, Luo Zhexian, et al. Introduction to Tropical Cyclone Dynamics. Beijing: China Meteorological Press, 2002. 200-204
- [2] 孟智勇, 徐祥德, 陈联寿. 台湾岛地形诱生次级环流系统对台风异常运动的影响机制. 大气科学, 1998, 22(2): 156~168
Meng Zhiyong, Xu Xiangde, Chen Lianshou. Mechanism of the impact of the cyclone system induced by the Taiwan island topography on tropical cyclone unusual motion. Chinese J Atmos Sci(in Chinese), 1998, 22(2): 156-168
- [3] 罗哲贤, 陈联寿. 台湾岛地形对台风移动路径的作用. 大气科学, 1995, 19(6): 701~706
Luo Zhexian, Chen Lianshou. Effect of orography of Taiwan island on typhoon tracks. Chinese J Atmos Sci(in Chinese), 1995, 19(6): 701-706
- [4] 阎敬华, 董克勤. 台湾附近地形对台风影响的数值模拟. 热带气象学报, 1997, 13(3): 217~226
Yan Jinghua, Dong Keqin. Numerical study of the effects of terrain in the vicinity of Taiwan on typhoons. J Tropical Meteor(in Chinese), 1997, 13(3): 217-226
- [5] 杨平章, 万齐林, 杜华武. 台湾地形对台风 Dot 运动影响的数值研究. 海洋学报, 1996, 18(5): 22~29
Yang Pingzhang, Wang Qilin, Du Huawu. Numerical study of on the effects of orography of Taiwan island on typhoon (Dot) tracks. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 1996, 18(5): 22-29
- [6] 郑庆林, 吴军, 蒋平. 地形对 9216 号台风暴雨增幅影响的数值研究. 南京气象学院学报, 1996, 19(1): 8~17
Zheng Qinglin, Wu Jun, Jiang Ping. Numerical study of orographic effect on amplification of typhoon precipitation. J Nanjing Inst Meteor(in Chinese), 1996, 19(1): 8-17
- [7] 王鹏云. 台湾岛地形对台风暴雨影响的数值研究. 气候与环境研究, 1998, 3(3): 235~246
Wang Pengyun. A numerical study on the effects of orography of Taiwan island on typhoon induced heavy rainfall. Clim at Environ Res (in Chinese), 1998, 3(3): 235-246
- [8] 陈联寿, 罗哲贤, 李英. 登陆热带气旋研究的进展. 气象学报, 2004, 62(5): 541~549
Chen Lianshou, Luo Zhexian, Li Ying. Research advances on tropical cyclone landfall process. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2004, 62(5): 541-549
- [9] 钮学新, 杜惠良, 刘建勇. 0216 号台风降水及其影响降水机制的数值模拟试验. 气象学报, 2005, 63(1): 57~68
Niu Xuexin, Du Huiliang, Liu Jianyong. The numerical simulation of rainfall and precipitation mechanism associated with typhoons Sinlaku (0216). Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2005, 63(1): 57-68
- [10] Xue M, Droegemeier K K, Wong V, et al. The Advanced Regional Prediction System (ARPS) User's Guide. Center for Analysis and Prediction of Storms, University of Oklahoma, 1995
- [11] Xue M, Wang D, Gao J, et al. The Advanced Regional Prediction System (ARPS), storm-scale numerical weather prediction and data assimilation. Meteor Atmos Phys, 2003, 76: 143-165
- [12] 朱佩君, 陈敏, 陶祖钰等. 登陆台风 Winnie(1997) 的数值模拟研究 I: 结果检验和云系的模拟. 气象学报, 2002, 60(5): 553~559
Zhu Peijun, Chen Min, Tao Zuyu, et al. Numerical simulation of typhoon Winnie(1997) after landfall, Part I: Model verification and model clouds. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, 60(5): 553-559
- [13] 朱佩君, 陈敏, 陶祖钰等. 登陆台风 Winnie(1997) 的数值模拟研究 II: 结构演变特征分析. 气象学报, 2002, 60(5): 560~567
Zhu Peijun, Chen Min, Tao Zuyu, et al. Numerical simulation of typhoon Winnie(1997) after landfall, Part II: Structure evolution analysis. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, 60(5): 560-567
- [14] 陈联寿. 热带气旋运动研究与业务预报的现状和发展. 见: 台风会议文集, 北京: 气象出版社, 1985. 6~30
Chen Lianshou. The present situation and development on research of typhoon tracks and operational forecast. In: The Collection of Typhoon Conference. Beijing: China Meteorological Press, 1985. 6-30
- [15] 陈联寿, 罗哲贤. 非对称结构与台风移动的若干联系. 见: 85-96 项目组. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(二). 北京: 气象出版社, 1996. 371~374
Chen Lianshou, Luo Zhexian. Some relationship between asymmetrical structure and typhoon tracks. In: Typhoon Science, Operational Experiments And Theoretical Study of Weather Dynamic, Part II. Beijing, China Meteorological Press, 1996. 371-374

A NUMERICAL SIMULATION STUDY OF TYPHOON RANANIM

Yu Zhenshou

(Wenzhou Meteorological Office, Wenzhou 325003)

Liao Shenshi

(Nanning Meteorological Bureau of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021)

Huang Kehui Ye Zixiang Zhao Fang

(Wenzhou Meteorological Office, Wenzhou 325003)

Abstract

Using the high resolutions non-hydrostatic model ARPS, the typhoon Rananim (0414) was simulated by using the Cinrad Doppler radar data, the results before and after typhoon landfall show that ARPS performs well to simulate the track, the variation of center pressure as well as the severe heavy rain of Rananim. Meanwhile, the simulated composite radar reflectivity was compared with radar observed composite reflectivity. The numerical results reveal that the asymmetrical structure of Rananim plays an important role in its westward deflecting after landfall. The sensitivity simulation experiments of terrain effect on Rananim were also investigated, the terrain of the Southeast China forces Rananim turning right slightly on its motion and increased its intensity obviously when typhoon is far away from the coastline, while the terrain only impacts slightly on storm intensity when it landfall. The results show that topographic lifting contributes greatly to precipitation enhancement, and makes its distribution of precipitation more uneven.

Key words: ARPS, Numerical simulation, Typhoon, heavy rain, Terrain.

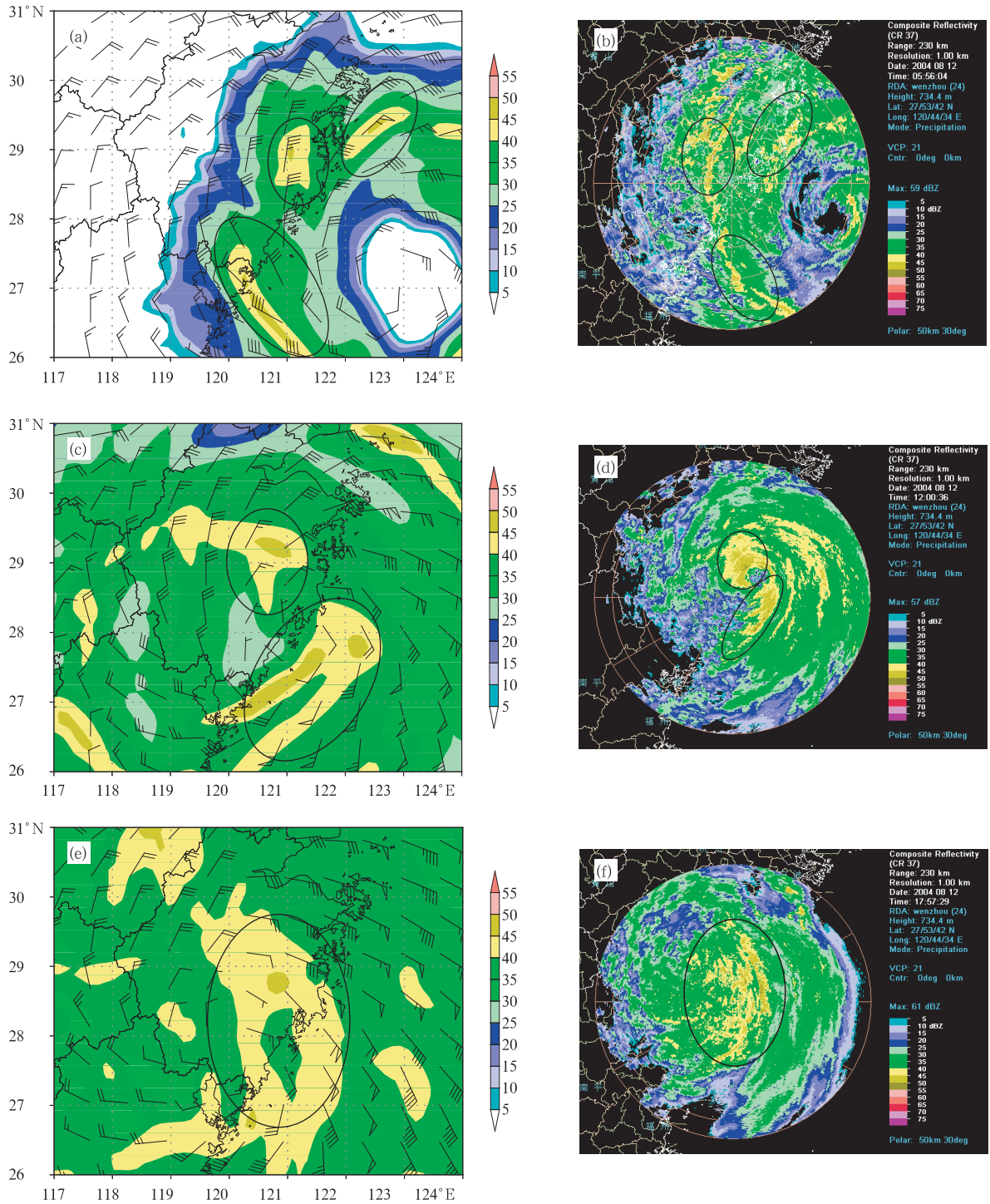


图5 控制试验模拟的组合反射率及表层风场与温州雷达观测组合反射率

(a. 8月12日06:00Z; c. 8月12日12:00Z; e. 8月12日18:00Z)

Fig.5 The composite reflectivity and surface wind fields simulated by model and observed by Wenzhou radar

(a. 06:00Z,12, Aug; c. 12:00Z,12, Aug; e. 18:00Z,12, Aug)

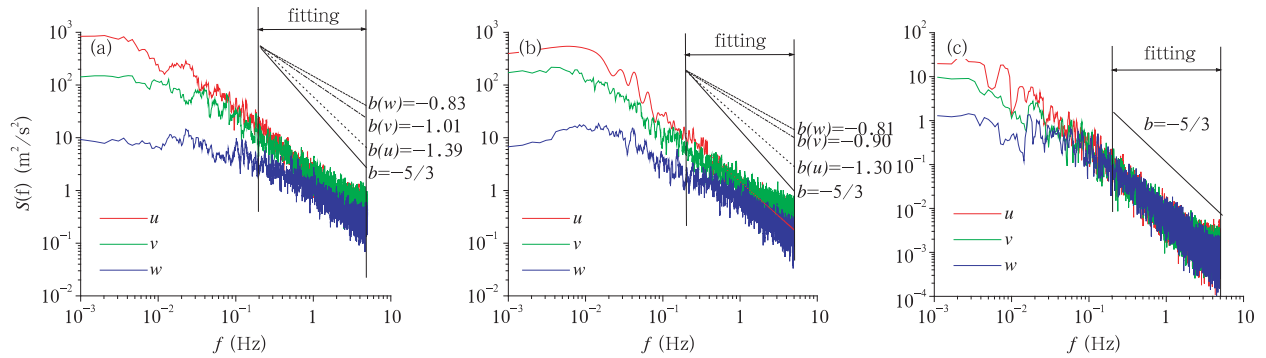


图5 “杜鹃”中心的湍流谱

(a. 2日21:45~22:15, b. 2日21:45~22:15, c. 无台风影响)

Fig.5 Turbulence spectral of Typhoon "Dujan" incentric region

(a. 21:45-22:15 2th, Sep, b. 21:45-22:15 2th, Sep, c. no typhoon)

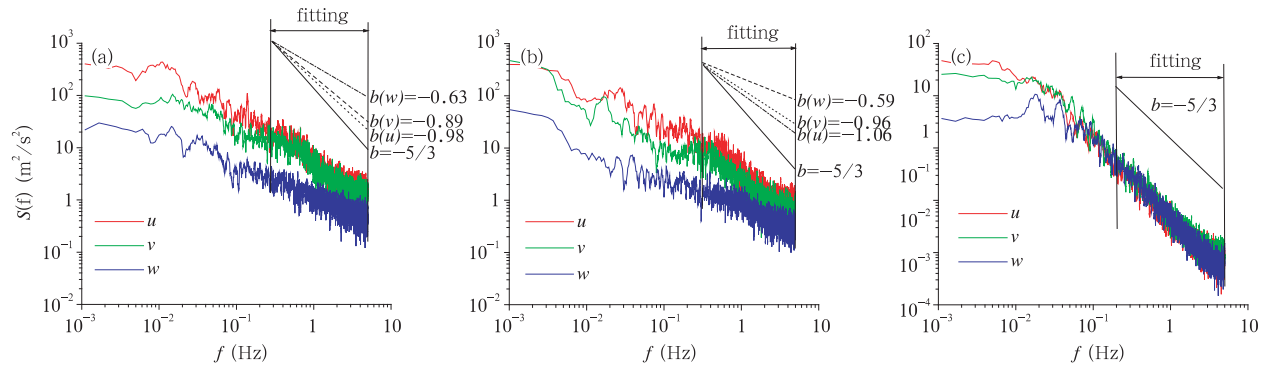


图6 “黄蜂”中心的湍流谱

(a. 19日19:35~20:05, b. 19日20:05~20:35, c. 无台风影响)

Fig.6 Turbulence spectral of Typhoon "Vongfong" in centric region

(a. 19:35-20:05 19th, Aug, b. 20:05-20:35 19th, Aug, c. no typhoon)

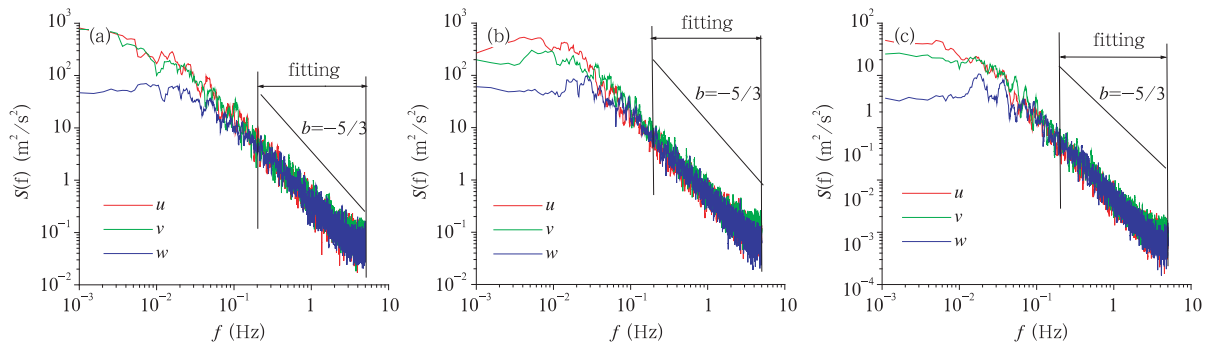


图7 “黑格比”外围影响

(a. 11日22:00~22:30, b. 12日03:00~03:30, c. 无台风影响)

Fig.7 Turbulence spectral of Typhoon "Hagupit" in centric region

(a. 22:00-22:30 11th, Sep, b. 03:00-03:30 20th, Sep, c. no typhoon)