

台风 Utor 登陆广东过程的数值研究^{*}

陈训来¹, 吴池胜¹, 何夏江², 李江南¹, 林文实¹

(1. 中山大学大气科学系 // 季风与环境研究中心, 广东 广州 510275;

2. 广东省气象局, 广东 广州 510080)

摘 要: 台风 Utor (0104) 于 2001 年 7 月 6 日 00 时 (UTC, 下同) 在广东汕尾地区登陆, 带来比较严重的灾害性天气。以美国国家大气研究中心和宾州大学联合研制的第五代中尺度模式 (MM5) 为基础设计的台风预报模式比较准确地预报出台风 Utor (0104) 的移动路径 (前 24 h 的移动路径平均误差为 68 km) 和天气现象的分布。在此基础上, 设计了 3 个敏感性试验: ①是把华南地区 (26°N 以南, 110°E 以东) 的陆地变为海洋, ②是把华南地区的山地变为平地, ③是减小华南地区陆地的粗糙度, 即取为近似于静风的洋面上的值。对比数值试验的结果表明: 引起台风登陆后减弱的最主要因子是下垫面水汽供应的切断, 其次是下垫面粗糙度 (摩擦) 的影响; 地形作用能使迎风坡的降水明显增加, 但对台风强度则没有明显的影响。

关键词: 台风数值试验; 华南地形; 地表粗糙度; 水汽供应; 广东

中图分类号: P435 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 02-0102-05

登陆台风往往带来大风、暴雨甚至洪涝等灾害性天气。这种灾害损失与台风登陆后在陆地上的维持时间长短有密切的关系, 一般维持时间越长带来的损失就越严重。由于陆面的摩擦作用和洋面水汽的切断, 台风登陆后终将消亡, 但不同的台风其登陆后维持的时间长短差异相当大, 有的登陆后几个小时即消失, 有的可维持 3~5 d^[1]。因此, 研究台风在陆上的衰减和维持对减灾防灾有重要的意义。

华南是全国受台风侵袭最频繁的地区, 在华南登陆的台风约占全国的 63.4%^[2]。近年来, 我国气象工作者对影响华南的台风作了许多研究^[3], 但限于资料和研究工具等客观条件的限制, 对华南台风登陆过程的研究尚不多, 尤其是关于华南地形、下垫面条件等对登陆台风影响的研究就更少。

台风 Utor (0104) 于 2001 年 7 月 6 日 00 时在广东海丰—惠东间登陆, 并给广东省及其附近地区带来了灾害性的天气, 造成了惨重的损失。本文利用中尺度模式 MM5 研究了台风 Utor (0104) 的登陆过程, 并通过敏感性试验探讨了华南地形、下垫面的粗糙度以及海陆分布等因子对登陆台风衰减的影响。

1 试验所用的模式和方案设计

数值试验采用的是美国国家大气研究中心和宾

州大学联合研制的第五代中尺度模式 (MM5)。MM5 是非静力平衡的中尺度模式, 它含有比较完善的物理过程, 有关模式的细节可参考文献^[4]。其中粗网格区域有 81×101 个格点, 格距为 54 km; 细网格区域有 121×121 个格点, 格距为 18 km。把日本气象厅 (JMA) 前 12 h 的预报场 ($1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 度格点资料), 直接插值到模式的格点上作为客观分析所用的初估场, 加入常规观测资料后经客观分析得到模式的初值。粗网格区域边界条件亦由 JMA 前 12 h 的预报场提供。

我们设计了如下几个试验方案:

(1) 预报试验 A (简称试验 A): 粗细网格区域的积云对流参数化方案分别采用 Betts—Miller^[5] 对流调整方案和 Grell^[6] 方案, 边界层物理过程采用 Blackadar^[7] 的高分辨边界层模式。粗细网格区域的时间积分步长分别为 120 s 和 40 s, 从 2001 年 7 月 5 日 00 积分 48 h 至 7 日 00 时, 这段时间基本包括了台风 Utor (0104) 的登陆过程。

(2) 敏感性试验 B (简称试验 B): 把华南即 26°N 以南, 110°E 以东地区的陆地部分变为海洋, 其余的与试验 A 相同。比较试验 A 与试验 B 的结果可以了解海陆分布和下垫面水汽供应对登陆台风的影响。

(3) 敏感性试验 C (简称试验 C): 把华南地

^{*} 收稿日期: 2004—03—05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40375036); 科技部基础条件平台资助项目 (2003DIB4J145)

作者简介: 陈训来 (1979 年生), 男, 硕士生; 通讯联系人: 吴池胜; E-mail: ceswscs@zsu.edu.cn

区（范围同上）的山地变为平地，即令地形高度 $Z_s(x, y) = 0$ ，但不改变陆面粗糙度 (Z_0)，其余的与试验 A 相同。此方案仅忽略地形的作用，与试验 A 比较，可以看出地形的抬升对登陆台风的衰减以及其风雨分布的作用。

(4) 敏感性试验 D（简称试验 D）：把华南地区（范围同上）陆地部分 Blackadar 的高分辨边界层模式中的陆面粗糙度改为 10^{-4} m （近似于静风的洋面上的值），其余的与试验 A 相同。通过比较试验 A 与试验 D 的结果可以了解下垫面粗糙度对登陆台风的作用。

2 试验结果

2.1 台风的移动路径、强度和天气分布

图 1 给出的是试验 A 和实测的台风路径^[8]，其中实线为试验 A，虚线为实测。由图中可以看出，试验 A 预报的路径和登陆地点与实况相当接近，能提前 24 h 预报出了台风在广东汕尾地区登陆，登陆地点与实测的误差仅 35 km，但预报的台风登陆时间比实测偏早 4 h。在前 24 h 内的预报路径与实测的平均误差是 68 km，在 24 至 48 h 预报路径与实测的平均误差是 124 km。因此可以说模式对台风 Utor 的路径预报是比较成功的，预报的精度与当前国内外的先进水平相当^[39]。

台风的强度通常可以用台风的中心气压和/或最大风速来表示。图 2 是台风中心气压随时间的演变曲线。图中初始时刻试验 A 的中心气压与实况相差 5 hPa，这是因为模式初始资料的分辨率较粗，且缺乏台风中心观测资料所致。从中心气压的变化趋势看，试验 A 预报的与实测的相当一致：从 5 日 18 时起试验 A 的台风中心气压就开始增加，此时虽然台风中心还没有登陆，但台风的部分环流场已位于陆地上，受陆面条件的影响台风开始减弱，这与实测的结果完全吻合；6 日 00 时台风登陆后，台风中心气压迅速增加（强度迅速减弱），试验 A 也能够预报出台风的这一减弱趋势，但预报的减弱速度比实测的要慢，在 6 日 12 时（登陆后 12 h）中心气压比实测偏低 7 hPa。

图 3 是台风最大风速随时间的变化曲线，从图中可以看出，实测与试验 A 的大小和演变趋势相当吻合。台风 Utor 在陆上的破坏性大风主要是于 5 日晚上（登陆前）出现在汕头地区，表 1 是自动气象站记录的最大风速出现的时间和地点。从预报试验 A 的 5 日 20 时风速等值线图（图略）中可以看出，台风风场具有明显的非对称结构，台风的大风区域在台风中心的东部和东南部，大风区域面积很

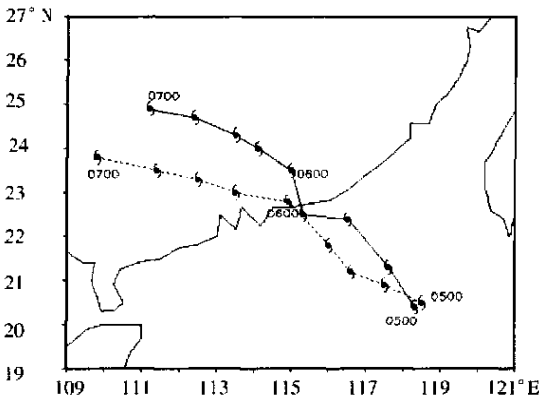


图 1 预报试验 A(实线)与实测的路径(虚线) (间隔 6 h)

Fig. 1 The predicted track (solid) and observed track (dashed) of typhoon Utor

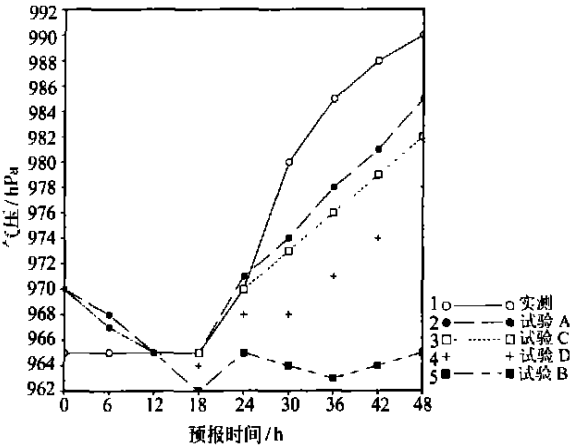


图 2 台风中心气压随时间的演变

Fig. 2 Time evolution of the minimum central pressures

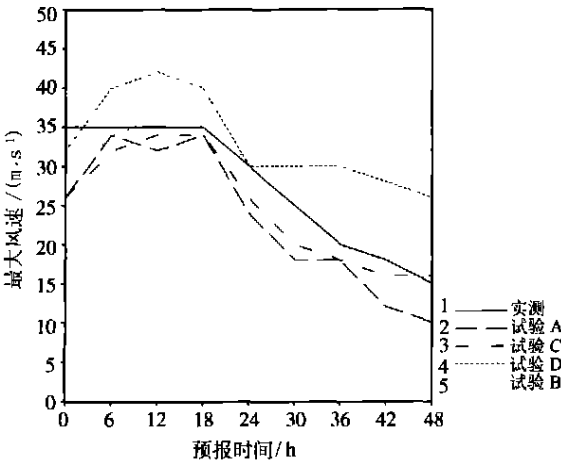


图 3 台风最大风速随时间变化曲线

Fig. 3 Time series of maximum surface wind ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

大，最大风速达到 36 m/s。其中广东省汕头、澄海地区的风速在 28m/s 左右，这与气象自动站点的实测记录（表 1）相当一致，这说明试验 A 对台风大风的风速的预报也比较准确。

表 1 气象自动站最大风速（7 月 5 日）

Tab 1 The maximal wind speed of meteorological observing stations				
站名	位置	最大风速 (m·s ⁻¹)	出现时间 UTC	
澄海	23.28°N, 116.46°E	22.8 (9 级)	20:00	
汕头	23.24°N, 116.41°E	27.6 (10 级)	19:45	
南澳	23.26°N, 117.02°E	17.6 (8 级)	20:07	
潮阳	23.16°N, 116.33°E	26.2 (10 级)	21:25	

图 4 给出的是广东省 24 h（5 日 00 时至 6 日 00 时）降水分布图。从图 4（a）中可以看出，台风 Utor 带来的降水主要分布在 114°E 以东的广东省东部地区，试验 A 也能预报出这种降水分布，预报的降雨中心（190 mm）与实测的（105 mm）相当吻合，落点差距小于 100 km。由于地面气象站（雨量站）的分布不均匀，有的相距超过 100 km，同时测站的降水资料还存在“代表性”的问题，即降雨量只能代表观测场附近的降水，特别是对流性的降水。因此，在观测资料中就可能无法完全记录一些山地的降水，这可能是预报试验 A 雨量比实测降雨量大的主要原因之一。

从以上的分析可以看出，试验 A 对台风 Utor 登陆过程的预报是相当成功的。

2.2 下垫面状况对登陆台风的影响

下面通过敏感性试验探讨下垫面状况的改变对登陆台风的影响。图 2 中同时也给出敏感性试验 B、C 和 D 的台风中心气压随时间变化的曲线。由图 2 可以看出，在试验 C（即陆面变为平地）和试验 D（有地形起伏但地表的粗糙度减小为 10⁻⁴ m，即近于光滑）中，台风中心气压变化趋势与试验 A 的基本一致，即台风中心在接近陆地和登陆后，其中心气压是逐渐升高的，但它们各自的填塞速度不一样。从 5 日 18 时至 7 日 00 时试验 C 的曲线与试验 A 的相当接近，这说明华南地形对台风登陆后的填塞作用相对是不重要的。在试验 D 中台风登陆后其填塞速度就（相对于试验 A）慢得多。在试验 B（把华南的陆地变为海洋）中，从 5 日 12 时到 7 日 00 时台风中心气压（台风强度）基本上维持不变，约 964 hPa。

为了进一步探讨地形、下垫面粗糙度和水汽供应 3 个因子对登陆台风衰减的影响，分别计算了试验 B、C 和 D 与试验 A 在各个主要时次的台风中心

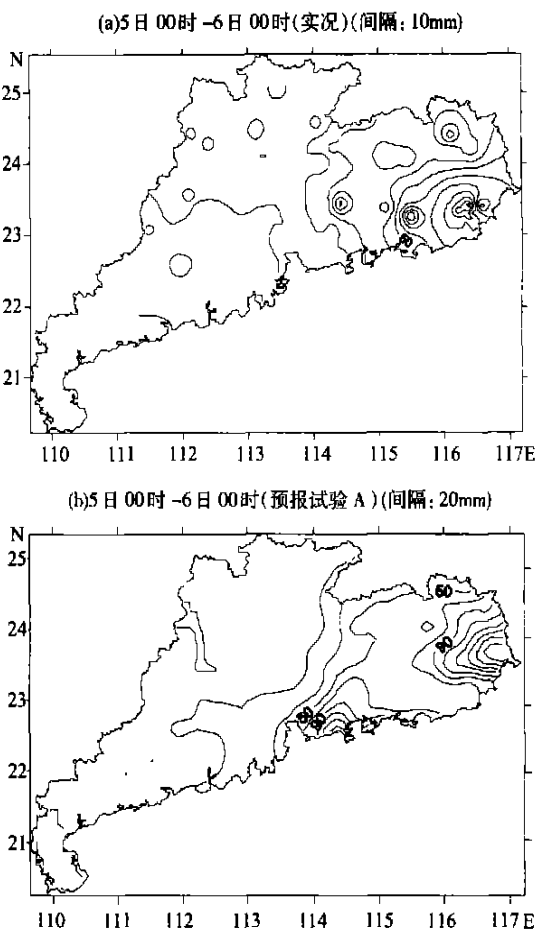


图 4 广东省内预报试验 A 和实况的 24 h 降雨量分布图

Fig. 4 24 h accumulated precipitation amount (mm) in Guangdong province ending at 00UTC 6 July 2001

气压差，如表 2 所示。

表 2 各个敏感性试验与试验 A 的台风中心气压差

Tab 2 The difference of SLP between the sensitivity experiments and experiment A							
气压差 hPa	18 时	24 时	30 时	36 时	42 时	48 时	
Δp_1	0	1	1	2	2	3	
Δp_2	1	3	6	7	7	8	
Δp_3	3	6	10	15	17	20	

- $\Delta p_1=$ (A-C)，反映地形的作用；
- $\Delta p_2=$ (A-D)，反映下垫面粗糙度的作用
- $\Delta p_3=$ (A-B)，反映下垫面水汽供应作用

从表 2 可以看出，地形的作用在 3 个因子中是最弱的， Δp_1 的最大值（出现在 7 日 00 时）仅为 3 hPa；从 6 日 06 时到 7 日 00 时试验 A 与试验 D 的中心气压差（ Δp_2 ）一直维持在 6~8 hPa，换句话说陆面的粗糙度可使台风填塞 6~8 hPa；同时，这段时间内试验 A 与试验 B 的台风中心气压差

(Δp_3) 是逐步增加的, 约是同期的 Δp_2 的 2 倍, 到 7 日 00 时, Δp_3 达 20 hPa。这些情况说明下垫面水汽供应切断是引起登陆台风减弱的最主要的因子, 其次是下垫面粗糙度的作用; 而且随着台风主体深入内陆, 下垫面水汽供应的切断对台风填塞的影响就更大。

图 5 是 6 日 12 时试验 B 与试验 A 的潜热通量的差值分布图。由图可以看出, 在华南陆面上空是一大片的正值区, 这说明试验 B 中台风强度的维持是与其下垫面 (水面) 的水汽供应有直接的关系。

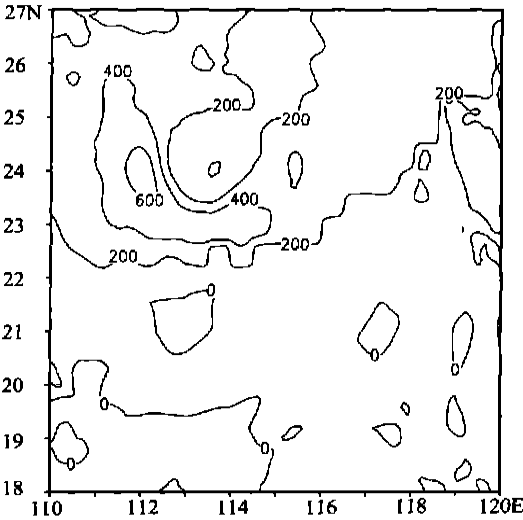


图 5 6 日 12 时试验 B 与试验 A 的潜热通量差值分布图 (单位: W/m^2)

Fig 5 Difference of latent heat flux between experiment B and A for typhoon Utor at 12UTC 6 July 2001

在图 3 中同时也给出敏感性试验的台风最大风速随时间变化曲线。从图中可见, 在试验 A 和试验 C 中, 台风登陆 (6 日 00 时) 后风速迅速减小, 而且两者的风速大小相当接近, 这也再一次说明地形对台风的衰减影响不大。另外, 我们注意到, 在 6 日 00 时前 (即台风登陆前) 虽然试验 D 的中心气压比试验 B 的高 (图 2), 但其最大风速是四个试验中最大的, 而且在登陆后一段较长的时间内 (6 日 00 时至 7 日 00 时), 其减弱速度也比试验 A 和试验 C 的慢得多。这种情形可能与摩擦速度的大小有关, 因为试验 D 的下垫面粗糙度是近于光滑的, 所以试验 D 的摩擦速度是最小的 (图略)。由于湍流引起的动量通量 (摩擦力) 是与摩擦速度的平方成正比, 因此, 动量的摩擦耗损在试验 D 中也是最小的 (图略), 这可能是试验 D 中台风最大风速减弱比试验 A 和 C 慢得多的主要原因。此外, 在 6 日 00 时台风登陆以后, 试验 B 的最大风

速在四个试验中是最大的, 这与前面图 2 中台风中心气压演变趋势是一致的, 这两者都说明丰富的下垫面水汽供应是试验 B 中台风强度得以维持基本不变的主要物理因子。

图 6 是把华南山地变为平地的试验 C 的 24 h 降雨量分布图。比较图 6 与图 4a 可以看出, 去掉华南的地形后, 在粤东地区的降水明显减小, 最大降雨中心比试验 A 减小了近 1 b; 而在珠江口东岸的降水则增加了 1/3 左右。图 7 是华南地形高度, 比较图 6 与图 7, 可以看出, 在汕头沿海一带地形梯度比较大, 这里气流在迎风坡上升, 而珠江口东岸属于台风环流的下风坡, 这是引起试验 C 与试验 A 的降雨分布差异的主要原因。

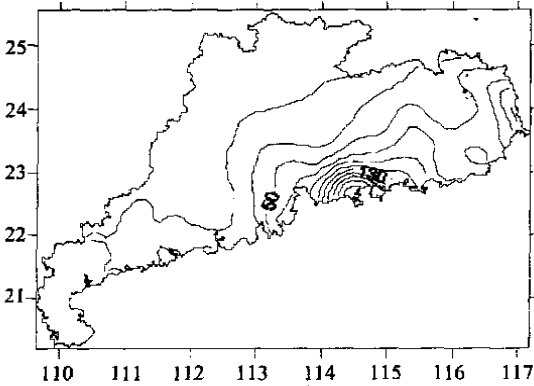


图 6 试验 C 5 日 00 时至 6 日 00 时的降雨量分布 (单位: mm) (间隔 20 mm)

Fig 6 24 h accumulated precipitation amount (mm) in Guangdong province ending at 00UTC 6 July 2001 in experiment C

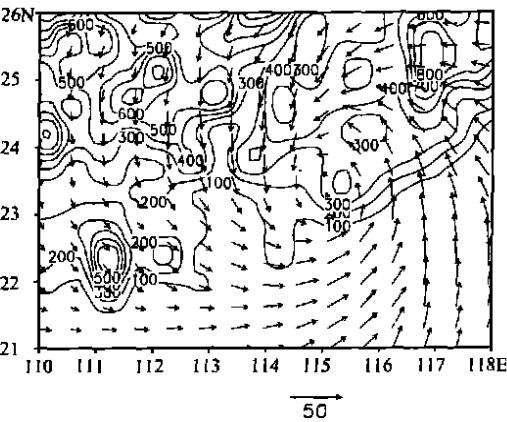


图 7 华南地形高度及台风登陆时的流场图 (6 日 00 时)

Fig 7 Terrain height of South China and the horizontal wind vectors at 00UTC 6 July 2001

3 结 论

(1) 以美国国家大气研究中心和宾州大学联合研制的第五代中尺度模式（MM5）为基础设计的台风预报模式，能够比较准确地预报出台风 Utor 的移动路径、登陆地点、大风和降水的分布，前 24 h 的路径预报与实测的平均误差是 68 km。因此，对台风 Utor 登陆过程的预报是相当成功的

(2) 敏感性试验的结果表明，引起台风登陆后减弱的最主要因子是下垫面水汽供应的切断，其次是下垫面粗糙度（摩擦）的影响，地形作用能使迎风坡的降水明显增加，而对台风强度则没有明显的影响。

以上的结果仅是对台风 Utor 登陆过程的研究得到，其普遍性还需要通过更多的个例分析验证。

参考文献：

[1] 梁必骥. 天气学教程[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 373—374.
[2] 杨绮薇, 黄曾明, 林爱兰, 等. 华南登陆台风频数的变化

及其与 ENSO 事件的关系[J]. 气象, 2001, 27(3): 12—16.
[3] 陈联寿, 孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学, 2001, 25(3): 420—432.
[4] GRELL G A, DUDHIA J, STAUFFER D R. A description in the fifth generation PSU/NCAR mesoscale model(MM5)[M]. NCAR Tech. Note, NCAR/TN, 398+STR, 1994. 138.
[5] BETTS A K, MILLER M J. A new convective adjustment scheme Part II : single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX, and arctic air mass data sets[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1986, 112: 683—709.
[6] GRELL G A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations[J]. Mon Wea Rev, 1993, 121: 764—787.
[7] BLACKADAR A K. High resolution models of the planetary boundary layer[J]. Advance in Environmental Science and Engineering, 1979, 11: 50—85.
[8] 国家气象局. 热带气象年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 73—74.
[9] PENG M S, CHANG S W. Numerical forecasting experiments on typhoon Herb (1996)[J]. J Meteorological Society of Japan, 2002, 80(6): 1325—1338.

A Numerical Study of the Landfall of Typhoon Utor

CHEN Xun tai, WU Chi sheng, HE Xia jiang, LIN Wen shi

(1. Department of Atmospheric Sciences // Monsoon and Environment
Research Center, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Guangdong Meteorological Bureau, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Typhoon Utor (0104) made landfall to Shanwei of Guangdong province at 00 UTC on 6 July 2001 and caused severe and disastrous weather. The numerical prediction system based on the Fifth generation NCAR/Penn State University Mesoscale Model (MM5) successfully predicts Utor’s moving track and distribution of weather phenomena. Three sensitivity experiments were designed for studying the effects of topography and land process in South China based on the typhoon intensity and weather distribution: ① changing the land of South China into the ocean (Exp B), ② reducing South China terrain to flat with surface roughness unchanged (Exp C), ③ reducing the surface roughness of South China to 10^{-4} m (Exp D). The experiment results show that the decay of landing typhoon is mainly due to the decrease of water vapor supply from the surface, secondly the increase of surface frictions. The precipitation distribution is considerably affected by the topography of South China, that is the precipitation amount on the up slope is much more than on the down slope. The topography, however, has little effect on the decay of typhoon Utor.

Key words: typhoon numerical experiment; topography of South China; surface roughness; water vapor supply