

# 山脉地形对热带风暴 Fitow 结构和运动影响的数值试验<sup>\* 1</sup>

段 丽<sup>1</sup> 陈联寿<sup>2</sup> 徐祥德<sup>2</sup>

1 北京市气象台, 北京, 100089

2 中国气象科学研究院, 北京, 100081

## 摘 要

热带风暴自东向西穿越琼州海峡时常常与海南西部的强天气相对应, 尤其当风暴中心在海峡中部或海峡西端出口处有向西南方向的偏折时。Fitow(0114)是这类热带风暴的一个典型。通过对 Fitow 热带风暴的研究和分析, 揭示了一个事实: Fitow 在沿海峡西行过程中, 其外围中尺度结构发生明显变化——风暴中心西南象限有一个中尺度对流 (MCS) 小涡生成和发展。受到这个诱生 MCS 小涡的“吸引”, Fitow 在穿行海南岛北部和琼州海峡时, 路径向西南方向偏折。数值模拟结果表明, 海南岛中部的五指山地形对 Fitow 自东向西穿行海峡时的这种结构变化有显著影响: (1) 当热带风暴 Fitow(0114) 自东向西穿过岛屿北部和琼州海峡时, 其外围西北气流与山脉的辐合地带往往会诱生出中尺度强对流涡旋系统 (MCS)。这种系统经过尺度分离和滤波处理后便会在山脉西北麓显现出来。(2) MCS 小涡只生成在地形高度之下的大气层; 地形高度之上并不显现这一小涡。用 0 高度作敏感试验的结果, 在相同位置并不生成这种 MCS 小涡。(3) 诱生小涡 (MCS) 的存在, 对 Fitow 会产生“吸引”作用, 使其向西南方向 MCS 所在处偏折。且 MCS 越深厚, 维持时间越长, 对 Fitow 中心的“吸引”程度越大, 其中心向西南方向的偏折和移动越明显。0.0 km 高度无 MCS 小涡时, Fitow 中心并无这种偏折, 而是向西北方向移动, 在雷州半岛登陆。

**关键词:** 热带风暴, 中尺度结构, 海南岛地形。

## 1 引 言

最近 10 a, 热带气旋结构和结构变化对热带气旋路径影响的研究取得了一定进展<sup>[1]</sup>。这类研究表明, 台风周围的小尺度涡旋会影响台风的结构<sup>[1-2]</sup>, 这些结构变化在弱引导环境中会使其路径产生摆动甚至打转, 引起路径与引导气流的偏差<sup>[3]</sup>。研究还表明, 热带气旋的热力不对称结构也会显著影响热带气旋的运动。热带气旋内部强对流系统的存在就是热带气旋热力非对称结构的一种表现。强上升运动或不稳定区域会对台风造成较强烈的“吸引”作用, 改变台风的路径, “诱导”台风移动。初始温、湿不稳定叠加量越大, 对台风运动的“吸引”越强, 台风偏离原路径“弯曲”程度越显著<sup>[4]</sup>。热带气旋有向其

内部对流不稳定区运动的趋势<sup>[4]</sup>。

地形是引起热带气旋结构变化的一个重要因素<sup>[5]</sup>。山脉地形在一定条件下形成的地形辐合线往往是热带气旋低压内部中尺度强对流系统的源<sup>[1]</sup>。热带气旋的运动会受到其周围中小尺度系统的影响。当台风趋近陆地时, 在台风环流与地形之间形成的辐合区会产生一系列中尺度对流活动。有的台风环流在地形作用下会产生诱生低压<sup>[6-7]</sup>。热带气旋与其周围中尺度系统的相互作用可导致热带气旋路径的摆动<sup>[8]</sup>, 使台风运动产生偏折。

岛屿地形对台风的作用也是近年台风登陆研究的一个问题。当台风接近台湾岛时, 在岛屿的另一侧会有诱生涡旋生成。适当条件下, 台风原来的低压中心因地形的阻挡而消失, 高层中心移过岛屿, 其

\* 初稿时间: 2005 年 5 月 18 日; 修改稿时间: 2005 年 8 月 8 日。

资助课题: 973 国家重点基础研究发展规划项目 01 课题(2004CB418301), 国家自然科学基金项目(40575018), 海南省 2002 年度自然科学基金。

作者简介: 段丽, 女, 1957 年生, 研究员。研究方向: 天气预报与研究。

相应的正涡度中心和高空辐散与低层的诱生涡旋耦合,使诱生涡旋得以发展加强而替代原来的台风<sup>[9]</sup>。另外的研究还表明,台湾岛地形强迫与基本气流的相互作用,可产生一对偶极涡,这对偶极涡附加环流的叠加作用能够显著影响热带气旋的运动<sup>[10-11]</sup>。

上述研究均未涉及海南岛。海南岛是中国受台风登陆和影响最多的省份之一,仅次于广东省,年平均登陆热带气旋 2.7 个。普查 52 a 热带气旋对海南的影响记录,直接影响海南的热带气旋大致可分为 4 类(图 1)。路径 I:自东向西正面袭击,占 60%;路径 II:自东南或南向西北或北正面袭击,占 19%;路径 III:穿越琼州海峡,占 12%;其他路径占 13%。在这几类热带气旋中,比较特殊的当属第 3 类——穿越琼州海峡的热带气旋。

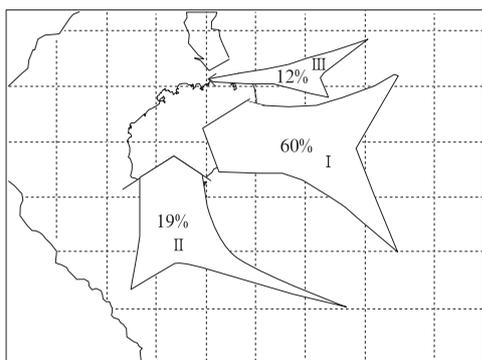


图 1 登陆海南路径概率图

Fig. 1 The frequencies of landfalling storms striking Hainan Island

在穿越琼州海峡的热带气旋中,有一种在穿越海峡时或出海峡后有短暂向西南偏折的运动。这一类热带气旋在穿越琼州海峡的热带气旋中约占 1/3,但它却常常引发海南西部的强特大暴雨。如 2001 年第 14 号热带风暴“菲特”(Fitow)和 1996 年第 18 号热带风暴“9618”(Willie)。

穿越琼州海峡并有短暂西南偏折运动的这类热带风暴,往往伴随着中尺度结构发生显著改变。本文将讨论这种结构变化,及结构变化对路径偏折的影响。

## 2 Fitow 过程天气实况和环流特征

图 2 是 Fitow 的路径图。Fitow 在海南岛东北角登陆,然后沿岛屿北部和琼州海峡西行,并在海峡西端出口处短暂向西南方向偏折。这次过程在海南

西部引发连续 3 d 的特大暴雨。特大暴雨中心 3 d 雨量 824 mm,24 h 最大降雨量 644 mm。

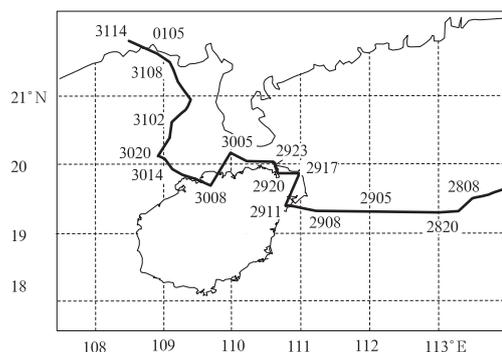


图 2 2001 年 8 月 28 日—9 月 1 日 Fitow 路径

Fig. 2 Fitow's track with 6 h intervals

分析 Fitow 在岛屿北部和琼州海峡西行期间 500 hPa 形势(图略)。其中纬度西风带呈纬向环流,副高呈东西带状位于江南和华南,强度很弱,分析不出 588 dagpm 线。副高对 Fitow 基本上没有明显的引导作用。然而,ITCZ 稳定,基本位于 20°N 一线琼州海峡附近。这是风暴中心自东向西穿行海峡的环流背景。

## 3 Fitow 中尺度结构特征及其对路径偏折的影响

### 3.1 中尺度对流(MCS)的生成和发展

Fitow 在移过海南岛北部和琼州海峡时,其中尺度结构的重要特征是其风暴中心西南侧有 MCS 生成和发展。从 Fitow 在穿行琼州海峡前后的卫星云图(图 3 附彩页)中可以清晰地看到,Fitow 在靠近海南岛北部和琼州海峡前,在结构上其中心偏西和西南方向基本没有强的云体(图 3a)。29 日 05 时当 Fitow 中心接近岛屿北部陆地时,有对流云体开始在 Fitow 中心偏西和西南侧生成(图 3b—3f)。强对流云体的生成和 Fitow 环流与五指山地形作用生成的一个中尺度对流系统有密切关系。

地面加密观测证实了这一点(图 4)。从图 4 中可见,29 日 23 时主环流中心在海南岛东北角(图 4a ★所示),而主环流西南侧,即海南岛西北部陆地有一个相对完整的次生环流中心生成(图 4a C 所示)。之后的数小时加密观测图显示(图略),这个次生环流中心发展很快,几小时后完全替代了主环流成为

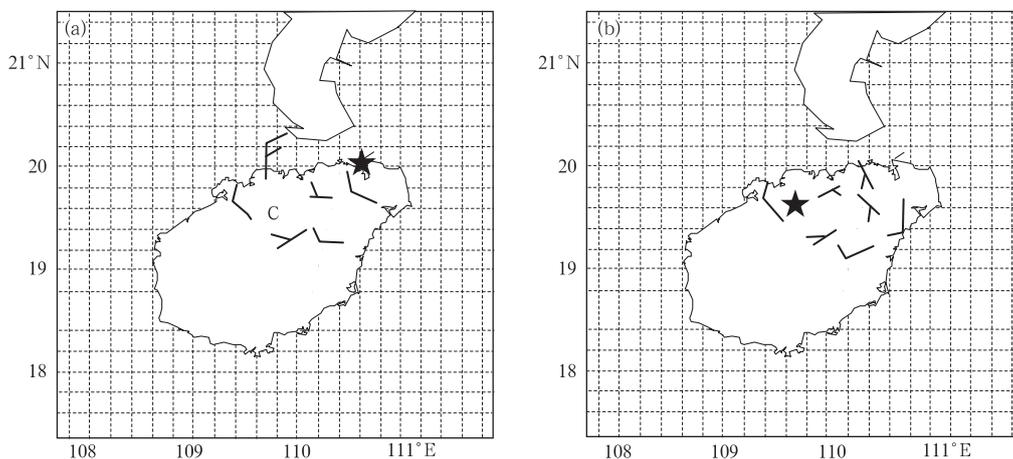


图4 Fitow 地面实测风

(a. 2001年8月29日23时, b. 2001年8月30日08时)

Fig. 4 Surface intensive observations at 23, 29th, August, 2001(a) and at 08, 30th, August, 2001(b)

Fitow 的中心(图 4b)。与图 3e, f 比较不难看出, 次生环流中心所对应的就是 MCS。

诊断分析的结果表明, 这个山脉地形生成的 MCS, 在对流层具有很强的上层辐散、低层辐合和中低空强的正涡度场, 同时有很强的垂直运动和中低空水汽辐合, 且上升运动中心和水汽辐合中心与 MSC 中心相对应。在 MCS 中心及附近, 大气中下层同时有较强的位势不稳定层结维持<sup>[12]</sup>。

### 3.2 中尺度结构 MCS 对路径偏折的影响

在琼州海峡活动的热带气旋中, 绝大部分是西行和西北行。Fitow 在西行过程中产生向西南方向的偏折, 和其中尺度结构、西南方向所生 MCS 的“吸引”有关。从 Fitow 中心在琼州海峡西端出口处向西南偏折过程中的地面加密观测记录及对应的同时次雷达回波(图 5a—5f)可见, 8月30日02时 Fitow 中心位于岛屿北端, 其西南侧有清晰的中尺度对流系统发展(图 5a, 5d); 8月30日05时 Fitow 中心沿偏西方向移至海峡西端, 其西南侧的中尺度对流系统已经发展得相当完整(图 5b, 5e); 8月30日08时中尺度对流系统完全替代主环流, 成为 Fitow 中心, 使 Fitow 中心移向西南方向(图 5c, 5f)。这个过程清楚地显示了 Fitow 中尺度结构、西南象限形成的 MCS “吸引” Fitow 中心向西南偏折的过程。

## 4 资料处理和模拟方案

### 4.1 模式和资料

采用 PSU/NCAR MM5-V3。积分区域为 1800 km

×1800 km。中心为 20°N, 110°E。格距为 20 km。垂直方向为 23 层  $\sigma$  坐标。显式水汽采取 Graupel 方案; 积云对流参数化采取 Kain-Fritsch 方案; 行星边界层采取 Blackadar 方案; 并考虑了云-辐射物理过程。

所用格点资料为国家气象中心 T106 全球分析场, 水平分辨率为  $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ , 垂直方向为 17 层: 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa。常规资料为国家气象中心 micaps 地面和高空资料。海温资料为 DSS/NCAR 的实时周平均资料。

### 4.2 试验、滤波方案

以 2001 年 8 月 29 日 08 时(北京时, 下同)为起始时刻, 对 Fitow 在海南岛北部和琼州海峡向西穿行过程, 进行海南岛和五指山地形对风暴中尺度强对流结构(MCS)生成以及 MCS 对风暴中心移动路径作用的模拟试验研究。

试验 1: 控制试验。海南岛原陆地不变, 五指山高度取 1.8 km(图 6b)。五指山最高峰 1.867 km。1.800 km 为最接近实际地形的高度。

试验 2: 敏感试验。海南岛原陆地不变, 五指山高度取 3.000 km(图 6a)。为了突出讨论五指山地形对风暴气流的影响, 取对流层中下层 750 hPa 环流为研究对象。所以取地形为 3.000 km, 使其高于 750 hPa 的高度。

试验 3: 敏感试验。MM5V3 地形不变。五指山高度为 0.600 km(图 6c)。

试验 4:敏感试验。海南岛全岛陆地高度取 0.0 km(图 6d)。

滤波方案:采用 grads 九点平滑算子,对积分流

场进行尺度分离。滤掉 2,3,4,5,6 倍格距的波,得到低通滤波场。用原始场减去低通滤波场,得到中尺度场。

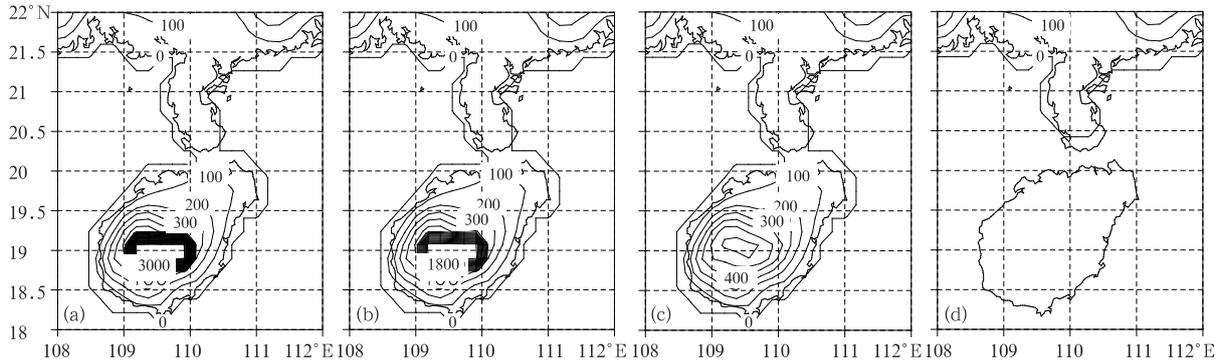


图 6 模拟试验地形图 (a. 试验 2, b. 试验 1, c. 试验 3, d. 试验 4)

Fig. 6 The simulated terrains (a. Exp. 2, b. Exp. 1, c. Exp. 3, d. Exp. 4)

## 5 模拟结果分析

### 5.1 地形对 MCS 生成的作用

模拟结果表明,MCS 的形成在很大程度上是由于五指山地形作用所致。Fitow 进入海峡东端,其中心西南方向由于五指山地形对风暴中心西北强风速气流的阻挡和强迫绕流,形成 MCS。MCS 只在五指山顶以下存在,五指山顶以上没有 MCS 存在。

图 7 是 Fitow 中心位于海峡期间各个高度不同地形试验中尺度次生环流最强时次的滤波中尺度流场。积分初始时间:2001 年 8 月 29 日 08 时。图中空白是所在高度五指山地形区域。图 7a<sub>n</sub> 为试验 2 五指山高度取 3.000 km 积分 29 h 各所标高度滤波流场;图 7b<sub>n</sub> 为试验 1 五指山高度取 1.800 km 积分 27 h 各所标高度滤波流场;图 7c<sub>n</sub> 为试验 3 五指山高度为 0.600 km 积分 25 h 各所标高度滤波流场;图 7d<sub>n</sub> 为试验 4 海南岛全地形取 0 km 积分 25 h 所标高度滤波流场。

图中,试验 2 从 950 hPa 到 750 hPa 都有地形显现。地形北部,即海南岛西北部陆地均有中尺度次生环流存在(图 7a<sub>950</sub>, a<sub>900</sub>, a<sub>850</sub>, a<sub>750</sub> 中□所框)。当积分高度升到 700 hPa 时,地形不再显现。这时同一地区没有中尺度次生环流(图 7a<sub>700</sub> 中□所框)。试验 1 从 950 hPa 到 850 hPa 有地形显现层,地形北部、海南岛西北部陆地有中尺度次生环流(图 7b<sub>950</sub>, b<sub>900</sub>, b<sub>850</sub> 中□所框)。而当地形升到 750 hPa,

地形不再显现,同样该区域没有中尺度次生环流存在(图 7b<sub>750</sub> □ 所框)。试验 3 当五指山高度为 0.600 km 时,只有 950 hPa 层地形显现。所以只有这一层地形西北部出现中尺度次生环流(图 7c<sub>950</sub> □ 所框)。而其上一层 900 hPa 无地形显现,没有中尺度次生环流(图 7c<sub>900</sub> □ 所框)。试验 4 海南岛全地形高度取 0 km,即使在 950 hPa 同一地区也没有中尺度次生环流(图 7d<sub>950</sub> □ 所框)。事实上试验 4 任何高度这一地区都没有中尺度次生环流出现(其他高度图略)。也就是说,有五指山地形存在的试验,海南岛西北部陆地有次生中尺度环流生成和存在,无地形存在的试验,没有次生中尺度环流生成和存在。而且地形中尺度次生环流总是发生在地形高度以下。与图 3e,3f 及图 5d,5e,5f 比较,不难看出这里的中尺度次生环流就是实况中的 MCS。

### 5.2 MCS 对 Fitow 路径偏折的影响

模拟结果表明,没有海南岛地形存在,Fitow 并不正常西行,它将直接登陆雷州半岛西北行;而当有海南岛及五指山地形存在时,Fitow 才沿海南岛北缘和琼州海峡西行和南折。

Fitow 所以如此,是由于其中尺度结构作用所致。当 Fitow 接近海南岛东北部陆地时,受五指山地形影响,在山的西北坡、Fitow 中心西南方向有中尺度对流 MCS 生成。而有利的上升运动动力结构、充足的水汽供应及持续的不稳定层结与 MCS 在该地区形成的耦合作用,使 MCS 在这一地区持续

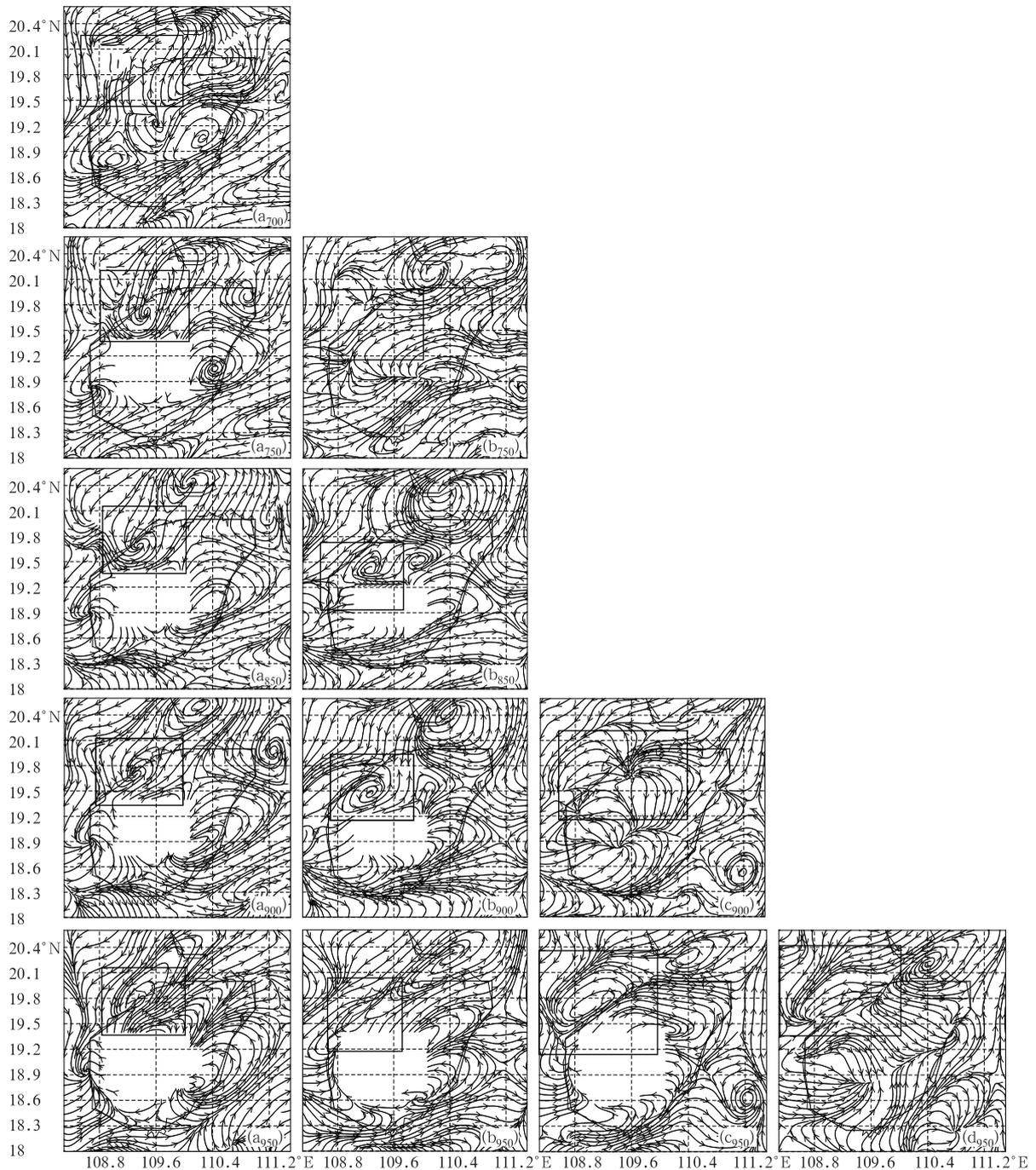


图 7 Fitow 中心位于海峡期间各个层次不同地形试验的滤波中尺度流场

(积分初始时间  $t$ : 2001 年 8 月 29 日 08 时, 图中白色空白是五指山地形区域;  $a_n$ . 各个高度试验 2(五指山高度取

3.000 km) 积分 29 h 滤波中尺度流场,  $b_n$ . 各个高度试验 1(五指山高度取 1.800 km) 积分 27 h 滤波中尺度流场,  $c_n$ . 各个高度试验 3(五指山高度为 0.600 km) 积分 25 h 滤波中尺度流场,  $d_n$ . 高度试验 4(海南岛地形取 0.0 km) 积分 25 h 滤波中尺度流场)

Fig. 7 The mesoscale stream fields at corresponding levels of different Exp. when Fitow was over the Qiongzhou strait (Initial integral time is 08BT 29 Aug. 2001. The blank areas indicate Wuzhi Mountain regions at corresponding levels;  $a_n$ : The mesoscale stream fields at corresponding levels after 29h integration of Exp. 2 with Wuzhi Mountain 3000 m height above sea level,  $b_n$ : The mesoscale stream fields at corresponding levels after 27 h integration of Exp. 1 with Wuzhi Mountain 1.800 km height above sea level,  $c_n$ : The mesoscale stream fields at corresponding levels after 25 h integration of Exp. 3 with Wuzhi Mountain 0.600 km height above sea level,  $d_n$ : The mesoscale stream fields at corresponding levels after 25 h integration of Exp. 1 with Wuzhi Mountain 0 m height above sea level)

稳定发展<sup>[12]</sup>。发展的 MCS 对 Fitow 产生“吸引”作用,“诱导”Fitow 西南行<sup>[8]</sup>,并最终替代 Fitow 中心,使其“完成”向西南方向的偏折。

Fitow 在海南岛北部和琼州海峡向西穿行期间不同试验 750 hPa 积分流场时间动态图(图 8)表明,积分 24 h,Fitow 中心位于海南岛东北角。这时 4 个试验的中心位置几乎完全一致(图 8a<sub>T24</sub>, b<sub>T24</sub>, c<sub>T24</sub>, d<sub>T24</sub>)。积分 26 h,试验 2、试验 1、试验 3 中心

位置都出现向西南方向偏折(图 8a<sub>T26</sub>, b<sub>T26</sub>, c<sub>T26</sub>)。试验 2 偏折程度最大,试验 1 次之,试验 3 稍有偏折。而试验 4 只有稍许西移,没有向南偏折(图 8d<sub>T26</sub>)。积分 28 h,试验 2 中心已经向西南移到海南岛西北部陆地(图 8a<sub>T28</sub>)。试验 1 中心也向西偏折了 0.6 经度,向南偏移了 0.2 纬度(图 8b<sub>T28</sub>)。试验 3 中心向西南偏移很少(图 8c<sub>T28</sub>)。试验 4 没有向西南方向偏折,而是移向西北方向(图 8d<sub>T28</sub>)。

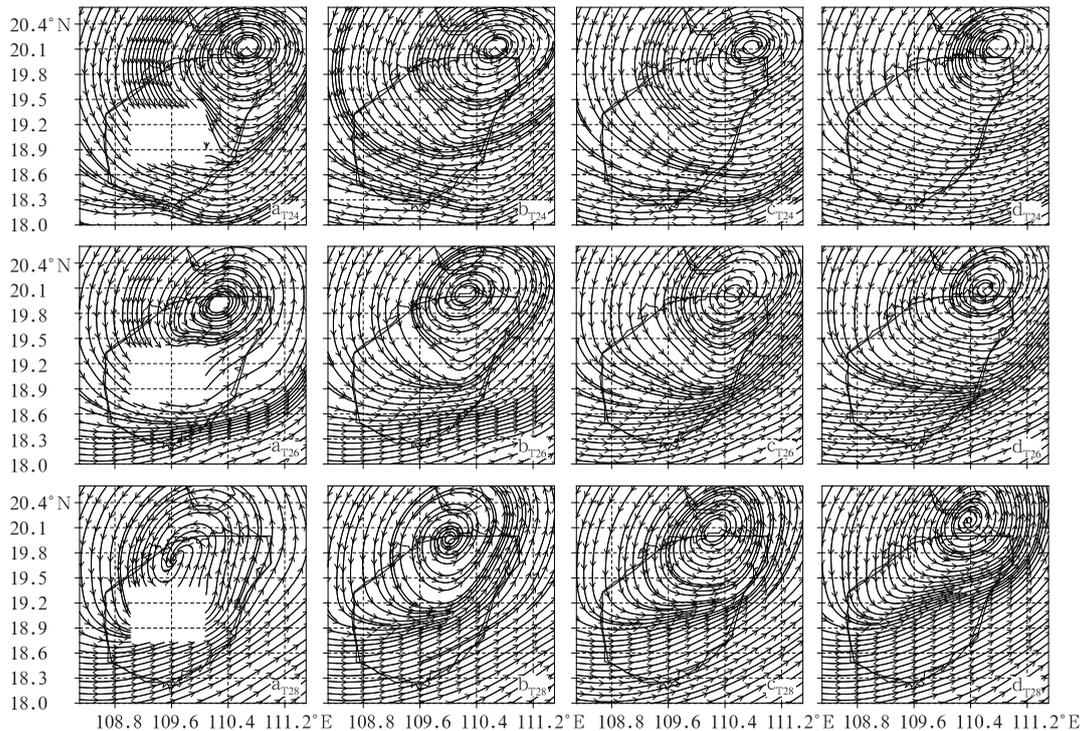


图 8 Fitow 在海南岛北部和琼州海峡期间不同试验 750 hPa 积分流场时间动态图  
(图中 a<sub>Tn</sub>, b<sub>Tn</sub>, c<sub>Tn</sub>, d<sub>Tn</sub> 分别为试验 2、试验 1、试验 3、试验 4 所标积分时次 750 hPa 流场)

Fig. 8 The continuous distributions of accumulative stream fields on 750 hPa when Fitow crossing the Qiongzhou strait

(a<sub>Tn</sub>: Exp. 2 at corresponding hours of integration, b<sub>Tn</sub>: Exp. 1 at corresponding hours of integration, c<sub>Tn</sub>: Exp. 3 at corresponding hours of integration, d<sub>Tn</sub>: Exp. 4 at corresponding hours of integration)

显而易见,4 种试验 Fitow 中心路径的偏折程度有很大不同。图 9 是 4 种试验模拟结果路径图。图中可见,如果消除系统偏差,当五指山高度取实际高度 1.800 km 时(试验 1),风暴中心模拟路径(图 9b)与实际路径(图 2)非常相近:风暴中心在海南岛东北角登陆后,沿海南岛北部和琼州海峡自东向西穿行,并在海峡西端短暂向西南方向偏折。图 9a 试验 2 的模拟路径与试验 1 相近,但其向西南方向的偏折较试验 1 和实况路径更强。试验 3 模拟路径也有向西南方向的偏折,但较实况小得多(图 9c)。

试验 4 模拟路径与前 3 个试验的模拟路径在海峡附近完全不同。它没有向西南方向的偏折,而是沿西北方向移向雷州半岛(图 9d)。

此外,各个试验不同高度滤波中尺度流场时间演变图显示(图略),试验 1 和试验 2 在大部分层次连续 5 h 都有 MCS 存在。试验 3 只有 2 个时次出现 MCS。

由此可见, MCS 越深厚,维持时间越长,对 Fitow 中心的“吸引”程度越大。其中心向西南方向的偏折和移动越明显。

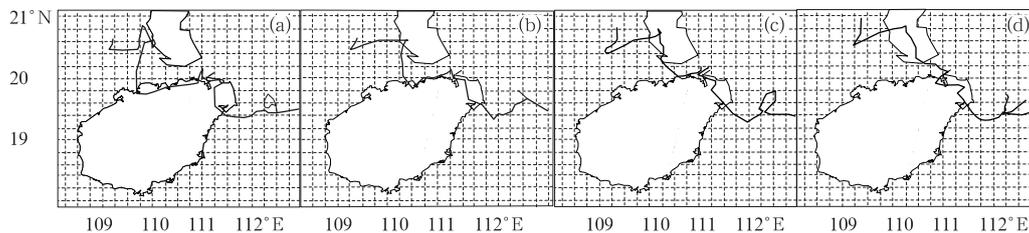


图9 Fitow 中心 4 种试验 750 hPa 层模拟结果路径

(a. 试验 2, b. 试验 1, c. 试验 3, d. 试验 4)

Fig. 9 The simulated Fitow's track on 750 hPa

(a. Exp. 2, b. Exp. 1, c. Exp. 3, d. Exp. 4)

## 6 结 论

(1) 海南岛中部的五指山地形会对登陆热带气旋的结构产生显著影响。当热带气旋 Fitow(0114) 自东向西穿过岛屿北部和琼州海峡时,其外围西北气流与山脉的辐合地带往往会诱生出中尺度强对流涡旋系统(MCS)。这种系统经过尺度分离和滤波处理后便会在山脉西北麓显现出来。MCS 的产生将会对台风的外围结构和运动产生影响。

(2) MCS 的生成与山脉地形有很大关系。数值试验的结果表明,MCS 小涡只生成在地形高度之下的大气层;地形高度之上并不显现这一小涡。用 0.0 km 高度作敏感试验的结果在相同位置并不生成这种 MCS 小涡。

(3) 对 Fitow 运动的数值试验结果表明,五指山山脉地形及其诱生小涡(MCS)的存在,对 Fitow 会产生吸引作用而使其向西南方向 MCS 所在处偏折。反之,对于 0.0 km 高度地形无 MCS 的情况,则 Fitow 向西北方向移动,在雷州半岛登陆,而不出现在向西南方向偏折的现象。

**致谢:**感谢中国气象科学研究院李英博士、孟智勇博士、张胜军博士、翁永辉博士、王慧博士在资料处理、模式绘图等方面的帮助和指点。

## 参考文献

- [1] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展.大气科学,2001,25(3):420-432  
Chen Lianshou, Meng Zhiyong. An overview on tropical cyclones research progress in China during the past ten years. Beijing, Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2001, 25(3): 420-432
- [2] Chen L. S. Tropical cyclone structure and structure change. Proceedings of the Second WMO International Workshop WMO/TD, 361:45-56
- [3] 罗哲贤.边缘区域扰动演变对台风结构的影响.大气科学,1994,18(5):513-519  
Luo Zhexian. Effect of smaller vortices in the edge region on typhoon structure. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 1994, 18(5): 513-519
- [4] 陈联寿,徐祥德等.台风异常运动及其外区热力不稳定非对称结构的影响效应.大气科学,1997,21(1):83-90  
Chen Lianshou, Xu Xiangde, et al. The effect of tropical cyclone asymmetric thermodynamic structure on its unusual motion. Chinese Journal of Atmospheric Sciences(in Chinese), 1997, 21(1): 83-90
- [5] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论.北京.科学出版社,1979. 491PP  
Chen Lianshou, Ding Yihui. Introduction to West Pacific Typhoons. Beijing: Scientific Press, 1979. 491pp
- [6] 陈联寿,徐祥德,王继志.热带气旋动力学引论.北京.气象出版社.2002. 317PP  
Chen Lianshou, Xu Xiangde, Wang Jizhi, Introduction to Tropical Cyclone Dynamics, Beijing: China Meteorological Press. 2002. 317PP
- [7] Chen Lianshou. Tropical cyclone landfall processes\_observing and forecasting rainfall. Topic Chairman and Rapporteur Reports of the Fifth WMO International Workshop on Tropical Cyclones WMO/TD. 2002. 5PP
- [8] Chen Lianshou, Luo Zhexian. Effect of the interaction of different-scale vortices on the structure and motion of typhoons. Adv Atmos Sci, 1995, 12(2): 207-214
- [9] Meng Zhiyong, Nagata Masashi, Chen Lianshou. A numerical study on the formation and development of island-induced cyclone and its impact on typhoon structure change and motion. Acta Meteor Sinica, 1996, 10(4): 430-443
- [10] 孟智勇,徐祥德,陈联寿.台湾岛地形诱生次级环流系统对热带气旋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 Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 1998, 22(2):156-168
- [11] Luo Zhexion, et al. Effect of the orography of Taiwan island on typhoon track. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 19(4):390-396
- [12] 段丽, 陈联寿. 热带风暴“菲特”(0114)特大暴雨的诊断研究. 大气科学, 2005, 29(3):343-353  
Duan Li, Chen Lianshou. Diagnostic analysis and numerical study on torrential rain associated with the tropical storm fitow (0114). Chinese Journal of Atmosphere Sciences (in Chinese), 2005, 29(3):343-353

## THE NUMERICAL SIMULATION ON THE IMPACT OF TOPOGRAPHY ON THE STRUCTURE CHANGE AND MOTION OF TROPICAL STORM FITOW (0114)

Duan Li<sup>1</sup> Chen Lianshou<sup>2</sup> Xu Xiangde<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089

<sup>2</sup> Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

### Abstract

The Hainan Island is one of the provinces where tropical cyclones made landfall frequently. There are 2.7 landfall tropical cyclones in average annually only less than Guangdong province. A severe tropical storm, Fitow (0114) crossing Qiongzhou Strait would has a great structure change due to the topographic forcing. A mesoscale convective vortex system (MCS) could be appeared in the southwest periphery of a storm Fitow (0114) where is the convergence area between the mountain range and the NW flow of Fitow. This small vortex (MCS) would affect the structure change and motion of Fitow. Intensive conventional observations, satellite images and radar reflectivity data have identified the genesis and existence of the MCS in the northwest side of the mountain range. The numerical simulation was performed with PSU/NCAR MM5V3 model to study the genesis of the small vortex of MCS.

The results of the simulation and filtering analysis show that a mesoscale convective vortex system (MCS) appeared clearly in a topographic convergent area caused by the peripheral flow field of Fitow and the mountain range which was favorable to form the MCS when Fitow was passing through the Qiongzhou Strait. The results also show that the MCS only occurred in the layer below the mountain altitude and disappeared in the level higher than the mountain. Higher altitude of the mountain is more favorable to the formation of MCS than the lower one.

Many studies showed that tropical cyclone motion can be influenced by some mesoscale vortices or topographic induced low in its periphery when it made landfall. One of the results from the simulation indicates that the MCS southwest to the Fitow's center caused the storm to turn direction towards southwest. It seems to be some attraction existed between the MCS and the Fitow. The another results showed that the Fitow would move towards northwest if without the MCS or the altitude of the mountain range in Hainan island is zero (no influence of the topography).

**Key words:** Tropical storm, Mesoscale Structure, Topography of Hainan Island.

# 段 丽等：山脉地形对热带风暴Fitow结构和运动影响的数值试验

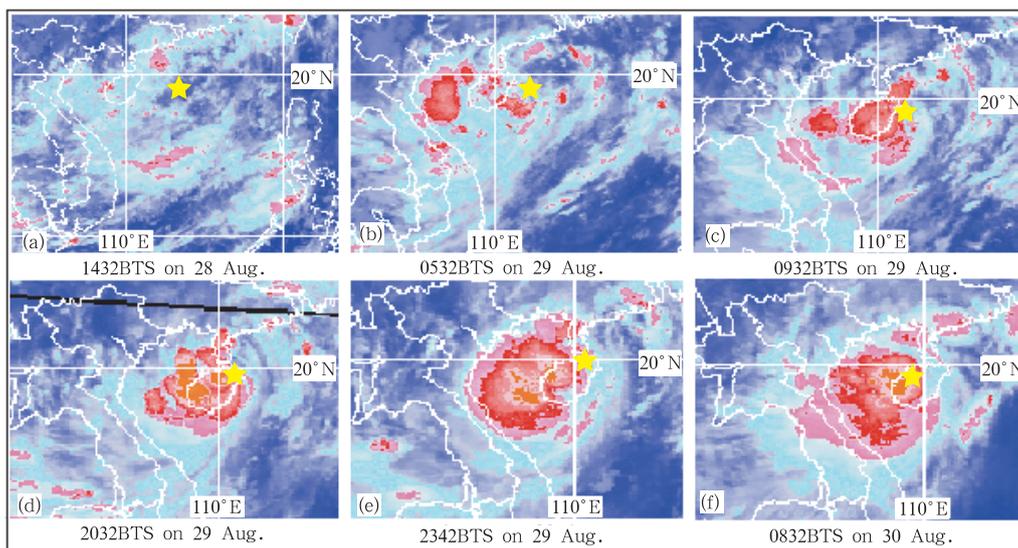


图3 Fitow在海南岛北部和琼州海峡西行过程卫星云图  
 (★代表同时次风暴中心位置。图中时间为北京时(下同))  
 Fig.3 The sequence of satellite images when Fitow crossing the Qiongzhou strait  
 (★: tropical storm center (BTS))

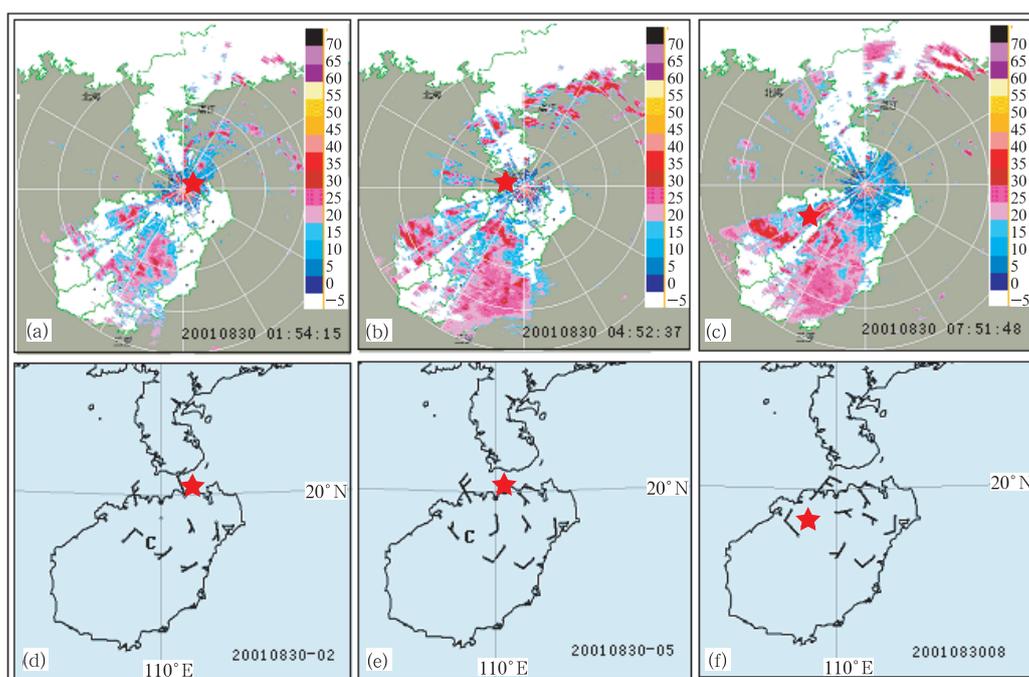


图5 Fitow中心西南偏折过程中地面加密观测记录及对应时次雷达回波  
 Fig.5 Surface intensive observations and corresponding radar echoes  
 in the Process of Fitow turning to southwest