1996 年第 8 号台风中尺度结构的数值研究*

王鹏云　刘春涛

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘　要

用非静力平衡的中尺度模式 MM5 模拟研究了从 1996 年 7 月 31 日 08 时至 8 月 1 日 20 时 36 小时内 9608 号台风的移动路径、中尺度热力动力学结构及云和降水物理结构及其变化。这段时间覆盖了 9608 号台风在台湾和福建省福清市登陆全过程。结果表明: 该模式比较成功地模拟预报了这次台风登陆过程, 模拟了登陆前后台风中心附近的一些重要中尺度结构和发展演变特征。模拟预报的台风路径与实况接近, 预报的 8 月 1 日 08 时(积分 24 小时)台风环流中心位于 2 小时后台风登陆点福建省福清市附近的海面上。台风中心附近低层呈气旋式辐合、高层呈气旋式辐散。台风眼壁具有由低层辐合形成的强上升气流, 台风眼中心为下沉气流。台风中心周围动力结构表现出明显的不对称特征。台风眼壁的雨水分布呈现由中尺度雨团构成的环形雨带结构。台风在台湾滞留期间, 台风中心由于低层云的发展使得卫星云图上原先清晰可见的台风眼变得模糊不清。高分辨的模式预报表明, 在对流层中层具有强上升气流和云雨水集中的眼壁比台风眼中心更为暖湿。

关键词: 中尺度模式(MM5), 台风, 中尺度结构。

1　引　言

9608 号热带风暴于 1996 年 7 月 24 日下午在西北太平洋上生成, 26 日下午加强成为台风(HERB), 而后向西偏北方向移动, 于 7 月 31 日 21 时在台湾北部登陆, 在台湾停留近 10 个小时后, 于 8 月 1 日 10 时 30 分在福建省福清市登陆。登陆后继续向西偏北方向移动, 于 1 日下午在江西境内减弱为强热带风暴, 傍晚前后又减弱为热带风暴。图 1 为 9608 号台风登陆前后卫星红外云图。

9608 号台风在台湾登陆和滞留过程中, 由于强风和暴雨造成台湾 30a 来最惨重的灾害。台风中心附近最大阵风风速达 40～60 m/s; 从 7 月 30 日至 8 月 1 日在阿里山降雨量高达 1987 mm, 日月潭 653 mm, 北部的桃竹苗山地区 1000 mm 以上。强风和暴雨造成 20 多人死亡, 40 人失踪, 数百人受伤, 估计造成的有形和无形经济损失超过 400 亿台币。刘还珠等[1]用国家气象中心的台风模式已对这次台风的动力热力学结构作了一些分析。

* 初稿时间: 1997 年 4 月 22 日; 修改稿时间: 1997 年 9 月 5 日。

资助课题: 国家气象局重点课题 "MM5 在灾害性天气预报中的应用开发研究"和国家自然科学基金项目 "中尺度强对流动力学研究"(49735180)。

台风在福建登陆减弱后形成的气旋在北上中先后途经江西、湖南、湖北、河南、山西、陕西, 受其影响沿途各省均下了暴雨到大暴雨。如 8 月 2～4 日受此气旋影响在湖北北部降雨量 100 mm 以上, 在汉水流域达 200 mm。华北、京津地区也下了大到暴雨。陕西渭河下游地区由于暴雨造成的洪水淹没农田 1.3×10^4 ha, 渭河支流决堤, 冲毁桥梁一座, 造成陕西省与河南省的交通大动脉 310 国道中断, 数万群众被洪水围困。

由图 1 可见, 在卫星红外云图上原先清晰可见的台风眼在台湾滞留期间变得模糊不清乃至于消失。这给气象人员监测预报台风中心位置及登陆造成一定困难。为研究这次台风在台湾和福建登陆前后其中心附近的中尺度结构及其变化, 用新近开发的非静力平衡中尺度模式 MM5(V1) 研究了在这段时间台风中心附近的动力热力学结构以及云和降水结构及其变化。这也是对 MM5 模拟预报台风能力的一个实例检验。

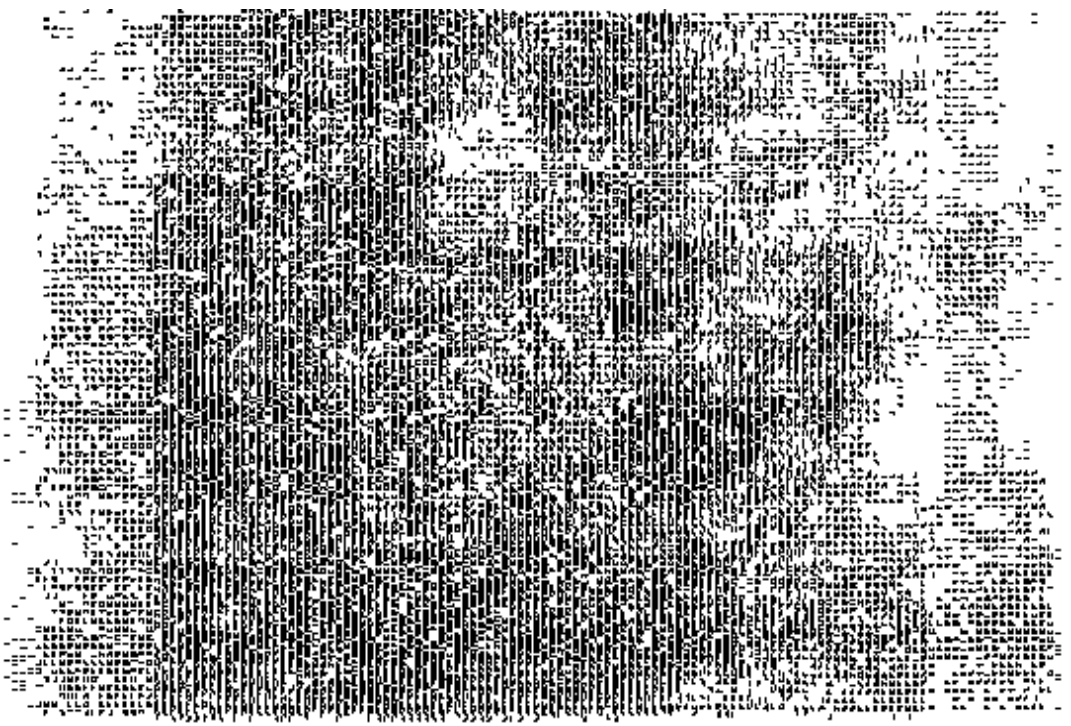


图 1　9608 号台风卫星红外云图

(a. 7. 31. 07∶30; b. 7. 31. 20∶30; c. 8. 1. 08∶30; d. 8. 1. 20∶30)

2　MM5 模式简述和数值研究方案

MM5 是美国宾州大学和 NCAR 1980 年代末、1990 年代初在 MM4 基础上研制发展的新一代中尺度模式[2]。MM5 与 MM4 的最重要差别在于 MM4 是流体静力平衡的, 而在 MM5 中除保留了静力平衡方案外, 还增加了非静力平衡方案。此外, MM5 对降水和辐

射等物理过程描述和处理更为周密合理。在降水物理过程的隐式的积云参数化方案中,除了与MM4中相同的Anthes-Kuo方案外,增加了改进的Arakawa-Schubert方案和Grell方案;在显式方案中增加了冰相过程;在辐射物理方案中,除了在用能量平衡方程计算地面温度时考虑辐射过程外,在模式各层上均考虑了辐射过程的能量收支,包括云水、云冰、雪和CO_2对辐射的吸收、散射和反射等。MM5中还设计了多重可移动套网格方案,因而在作模拟研究中可以方便地跟踪系统。模式中还加入了四维资料同化系统,可进一步改进模拟预报效果。

MM5模式系统是一个包括资料预处理、MM5模式主体和后处理的复杂系统。中国气象科学研究院和中国国家气象中心合作在1994～1996年将这套系统移植到中国国家气象中心CRAY机上,并与中国国家气象中心中期预报谱模式T63分析和预报场及地面和探空观测资料联结,建成了一个可以进行模拟研究和预报试验的完整系统,图2为该系统框图。

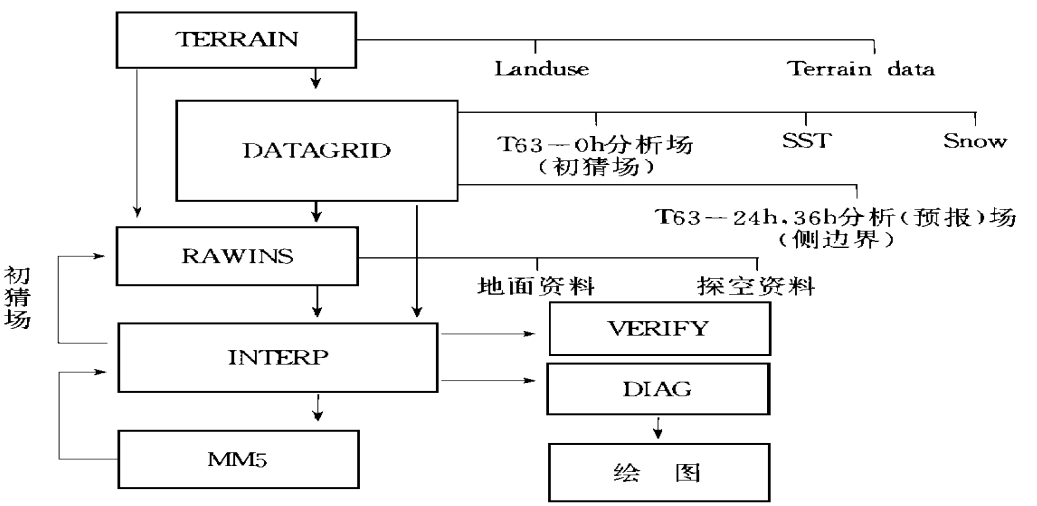


图2 本文所用MM5模式系统框图

在个例研究中,本文对MM5中提供的基本物理过程处理选用了非流体静力平衡、Blackdar高分辨行星边界层方案;云和降水物理过程及选用了3种不同方案进行比较,即Grell积云对流参数化方案、Anthes-Kuo对流参数化方案和包括冰相的显式水汽方案。

模式水平范围以26°N,118°E为中心,格距30 km,格点数61×61(见图4);垂直方向自地面至10 hPa不等距分为25层。模拟预报的起始时间为1996年7月31日08时,积分36小时至8月1日20时。这段时间覆盖了9608号台风在台湾和福建登陆前后的过程。

初始场仅由初估场经客观分析构成,未采用目前台风模式中常用的在初值场中加入人造台风的作法。个例试验中,用中国国家气象中心全球谱模式T63给出的水平分辨率为经纬度2.5°、垂直方向包括地面及从1000 hPa到10 hPa共15层标准等压面上的分析场格点资料,用16点复合双抛物线拟合法插值到模式的正方形网格点上,构成初估场;再

引入实际地面和高空观测资料, 用 CRESSMAN 客观分析方案对初估场进行订正并增加了 11 层新的气压层, 使得客观分析后的初始场垂直分辨率增加到 25 层。由于海上资料的缺乏, 由 T63 分析场插出的初估场中(图略), 台风中心的经纬度位置(23.0°N, 123.7°E)比实况报告(24.0°N, 124.6°E)各偏离了 1°, 即台风中心位置比实况偏西南约 130 km, 中心海平面气压值(986 hPa)也比实况报告(940 hPa)高出 46 hPa。用初始时刻的地面和探空观测资料客观分析订正后(图略)也没有使这一偏差改善多少(表 1)。这样给出的初始场与实况的偏差无疑将会影响到对台风路径和强度的模拟预报, 这将在本中的第 3.2 节中加以讨论。

表 1　初始场台风中心位置和强度

	纬度(°N)	经度(°E)	中心气压(hPa)
实况报告	24.0	124.6	940
初估场(T63 分析)	23.0	123.7	986
客观分析后	23.2	123.7	985

侧边界条件选用时变出入流方案, 用张弛逼近法将模式预报场向由间隔 12 小时的客观分析构成的大尺度场逼近[2]。

3　模式预报与实况比较

3.1　降水分布

在个例的模拟预报研究中, 对降水物理过程处理所用的 3 种方案即 Grell 方案、Anthes-Kuo 方案和显式方案模拟预报的台风路径、登陆位置及流场结构基本相似, 只是对降水量的预报有所不同, 其中以 Authes-Kuo 方案预报的降水量最接近实况(见表 2)。

表 2　不同参数化方案预报 9608 号台风降水量和登陆位置比较

预报方案	36 小时总降水量(mm)		登陆前(8.1.08 时)台风中心位置	
	台湾	福建	由海平面气压定(最低气压)	由流场定
Grell 方案	137	56	26.5°N, 121.0°E (995 hPa)	26.5°N, 120.4°E
Anthes-Kuo 方案	463	94	26.5°N, 120.7°E (992 hPa)	25.4°N, 120.6°E
显式方案	224	57	26.8°N, 120.7°E (994 hPa)	25.2°N, 119.7°E
客观分析			24.9°N, 119.2°E (982 hPa)	24.7°N, 120.3°E
实况报告	阿里山* 1987 日月潭* 653 桃竹苗山* 1000	福州 158 厦门 63	25.4°N, 120.0°E (970 hPa)	25.4°N, 120.0°E

*　1996 年 7 月 30 日– 8 月 1 日降水量

图 3 给出用 Anthes-Kuo 方案和显式方案预报的 36 小时总降水量比较。可见二者的降水分布型式与图 1 中卫星云图显示的台风中心周围的云系相似, 在台湾的最大降水中心, 尤其是用 Anthes-Kuo 方案预报的二个中心, 中心位置与实况(图略) 基本一致。

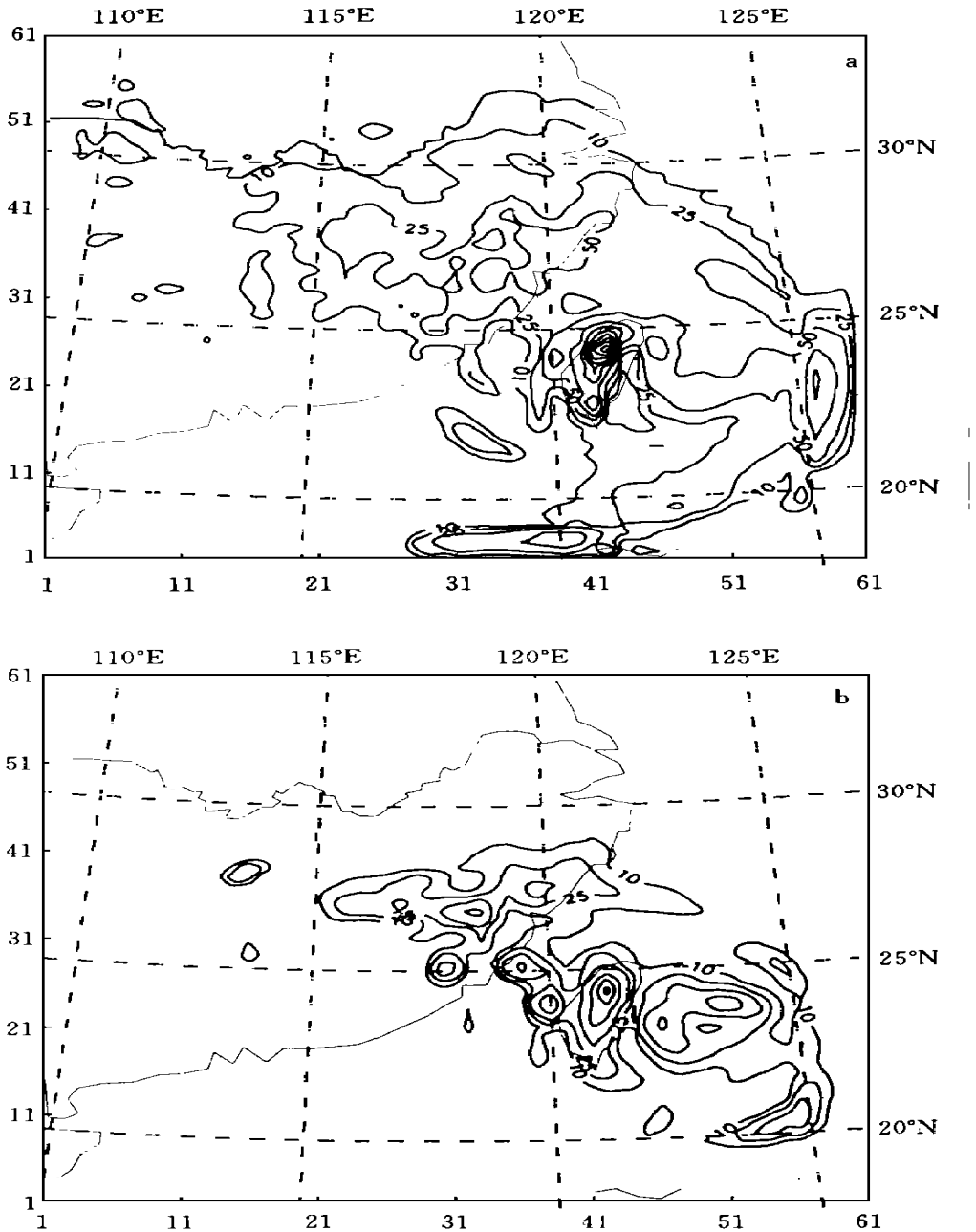


图 3 MM5 模式预报 36 小时总降水量

(a. Anthes-Kuo 方案; b. 显式方案。单位: mm, 等值线

间隔: 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500)

Authes-Kuo方案预报的降水量由对流性降水和非对流性降水二部分组成, 在个例中这二部分降水对总降水的贡献几乎相近, 在台风中心附近对流性降水更大些, 在台湾的二个最大降水中心, 北部中心的 463 mm 的降水中对流性降水占了 274 mm, 南部中心则主要由对流性降水提供。从个例的降水预报试验来看, 对强对流的台风降水预报, 模式水平格距在 30 km 以上, Anthes-Kuo 方案更好些。显式方案直接用雨水方程预报模式可分辨降水, 当模式水平格距取得很小(如 10 km 以下)时将会显示出其优势, 但这将使计算机机时增加得太多, 不大可能用于业务。

在个例的模拟预报研究中, 尽管显式方案预报的降水略逊于 Authes-Kuo 方案, 但由于显式方案除了可给出台风的热力动力学结构外, 还可给出云和降水物理结构的宏观变化, 所以在下面的讨论中将主要采用显式的模拟预报结果。

3. 2　台风路径、登陆时间和强度

图 4 为模式预报台风路径与实况比较。模式台风中心位置由整层平均的流场气旋中心确定。如前所述, 由于海上资料缺乏, 初始场中台风中心位置比实况报告偏西南约 130 km, 台风强度亦较弱, 中心低压 985 hPa 比实况报告 940 hPa 高出 45 hPa。因而使得在前 12 小时中预报的台风中心位置比实况偏南, 移动也比实况慢。但经过 MM5 模式自身调整, 积分 6 小时后台风中心位置已开始向实况路径逼近。虽然在积分第 18 小时预报台风仍然比实况落后, 但积分 24 小时后, 即 8 月 1 日 08 时, 模式预报的台风中心位置(25.2°N, 119.7°E)已与实况(25.4°N, 120.0°E)基本一致, 位于福建省福清市沿海附近, 2 h 后台风在福清登陆。登陆后台风移动预报比实况偏北偏快。由于模式初始场中台风强

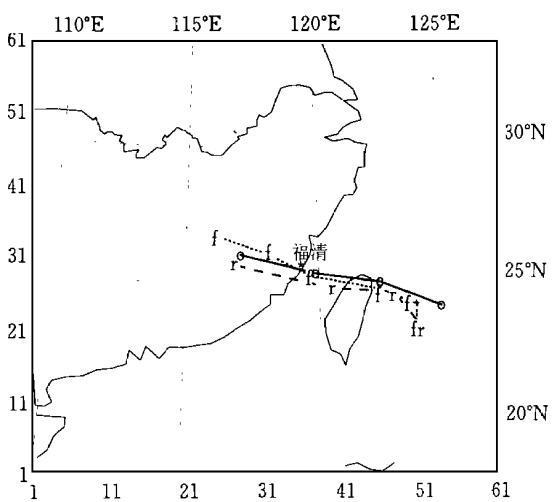


图 4　模拟预报范围和 9608 号台风路径
(实线为报告实况, "o"标示间隔 12 h 的台风中心位置; 短虚线为由T63分析场和探空资料客观分析结果, "r"标示间隔12h的台风中心位置; 点虚线为MM5预报结果, "f"标示间隔6h的台风中心位置)

度偏弱,预报的台风中心海平面气压均高于实况,如在登陆前(8 月 1 日 08 时)预报值为994 hPa,而实况报告为 970 hPa,但偏差值已由初始时的 45 hPa 缩小为 24 hPa,而且从台风强度总的变化趋势来看也是一致的。

4 9608 号台风在台湾和福建登陆前后中尺度热力动力学结构及其演变

4.1 台风中心附近的流场结构

陈联寿[3]曾提出台风的非对称结构能够影响台风移动的重要观点。1990 年夏季在西北太平洋开展的台风现场科学试验 SPECTRUM、TCM 和 TYPHOON 期间,利用加强观测资料所作的分析和数值试验进一步证实台风的非对称动力结构是影响台风路径的重要因素[4~6]。

MM5 模式模拟出了 9608 号台风中心附近气旋式环流结构及其非对称性。自 1000 hPa 向上直到模式顶(10 hPa)的 25 个等压面层流场分析显示,这次台风的气旋式结构一直延伸到 200 hPa 高度,在 600 hPa 以下在台风中心附近呈气旋式流入,在 600 hPa 以上呈气旋式流出。图 5 为积分 24 小时即 8 月 1 日 08 时 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa 3 个等压面上的流场分布。可见各层气流都呈反时针旋转的气旋式结构,850 hPa, 700 hPa 图上气流向台风中心流入,但 500 hPa 图上气流从台风中心向外流出。

图 6a, c 中给出 850 hPa 和 700 hPa 等压面上位势高度和用风矢量符号表示的水平风场分布。由图可见风速在台风中心的东北象限最大,西南象限最小。利用 SPECTRUM 等现场试验加密观测资料进行的数值试验表明,这种非对称分布型态的台风往往呈现快速偏西运动特征[4],这也正

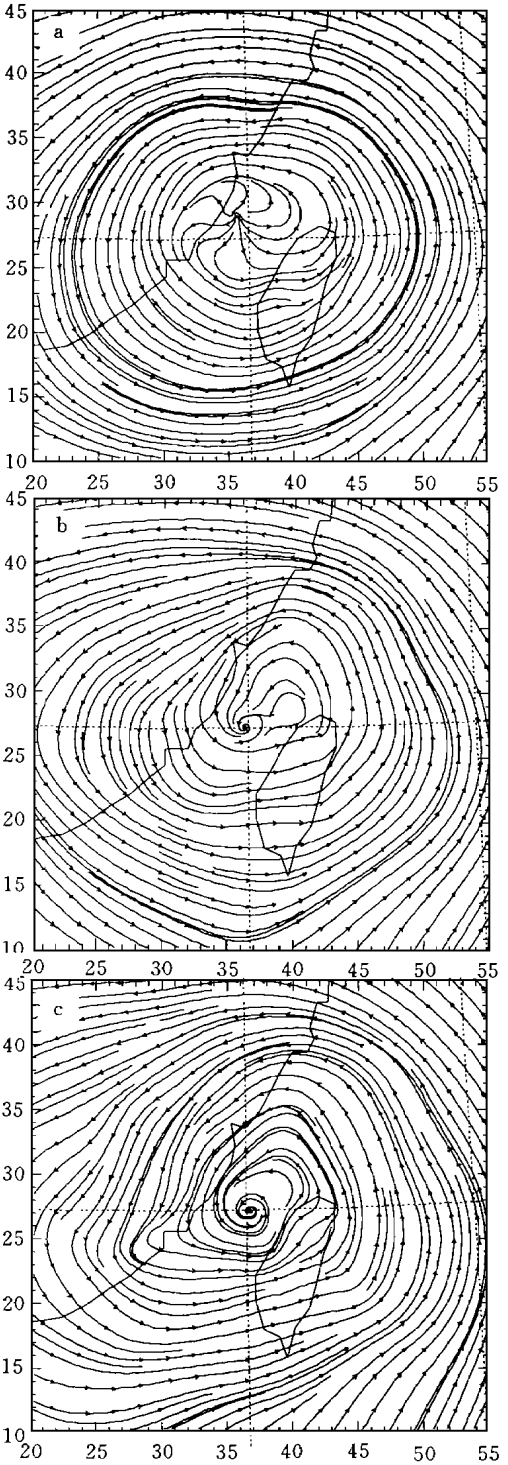


图 5 1996 年 8 月 1 日 08 时预报流场(24 小时)
(a. 500 hPa; b. 700 hPa; c. 850 hPa)

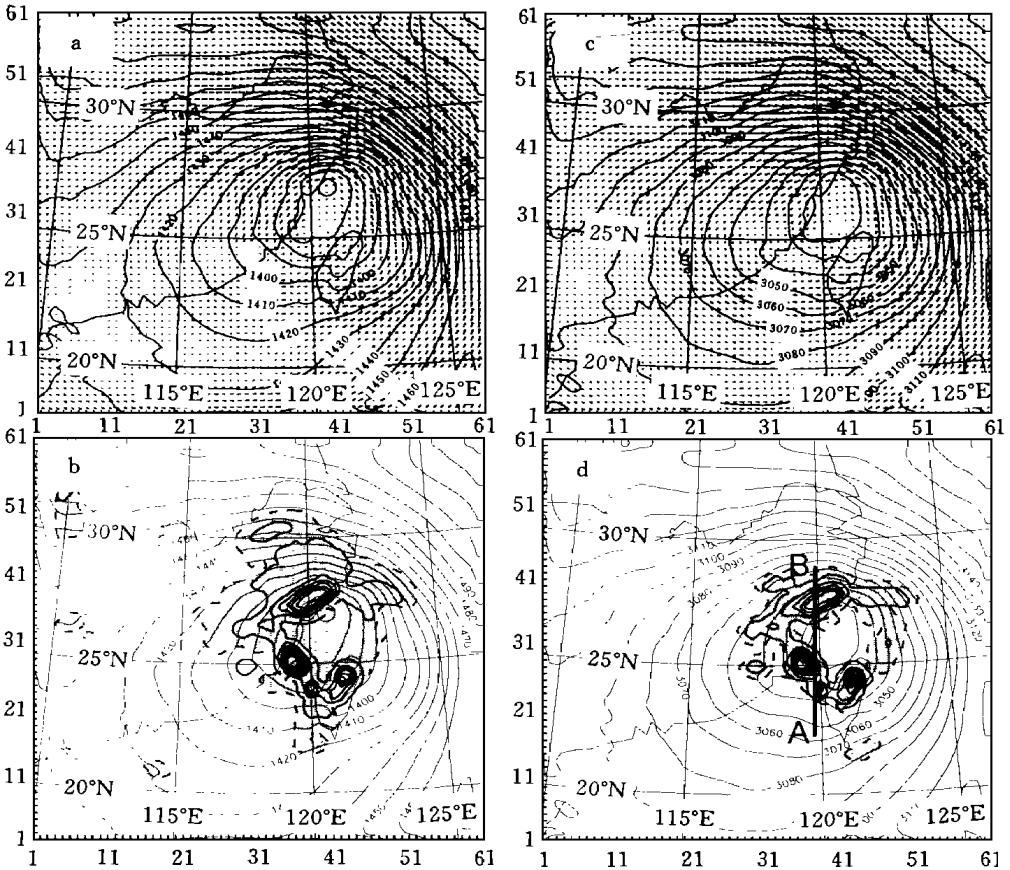


图 6　1996 年 8 月 1 日 08 时预报(24 小时)

(a. 850 hPa 位势高度(gpm) 和风场; b. 850 hPa 云水和雨水混合比分布; c. 700 hPa 位势高度 (gpm) 和风场; d. 700hPa云水和雨水混合比分布。阴影区为云水(≥ 1. 0× 10^{-5}kg/ kg) , 粗实线为雨水混合比等值线, 最外圈为1. 0× 10^{-5}kg/ kg, 由此向内间隔10× 10^{-5}kg/ kg)

和 9608 台风登陆后继续向偏西方向的移动趋势完全一致。

在模式预报 24 小时(8 月 1 日 08 时) 台风中心附近沿图6d 中 AB 线段所做的涡度场垂直剖面图上(图略) , 强涡度中心在台风中心北面的眼壁区, 最大涡度值 2. 8× 10^{-4} s^{-1}在 800 hPa 高度, 台风中心南面强涡度中心位置偏低, 在 950 hPa 高度。台风眼中心为弱涡度区。

在 MM5 的非静力平衡方案中, 垂直速度 ω由垂直动能方程求解:

$$\frac{\partial P^{*}\omega}{\partial} = -m^{2}\left[\frac{\partial P^{*}u\omega/m}{\partial x} + \frac{\partial P^{*}v\omega/m}{\partial y}\right] - \frac{\partial P^{*}\dot{\sigma}\omega}{\partial\sigma} + \omega DIV +$$

$$P^{*}g\frac{\rho_0}{\rho}\left[\frac{1}{P^{*}}\frac{\partial P'}{\partial\sigma} + \frac{T_v'}{T} - \frac{T_0 P'}{T P_0}\right] - P^{*}g[q_c + q_r] + D\omega$$

其中, 气压 P、温度 T 和密度 ρ 由定常的参考态 P_0, T_0, ρ_0 和扰动量 P', T', ρ' 二部分构成, 即:

$$P(x,y,z,t) = P_0(z) + P'(x,y,z,t)$$
$$T(x,y,z,t) = T_0(z) + T'(x,y,z,t)$$
$$\rho(x,y,z,t) = \rho_0(z) + \rho'(x,y,z,t)$$

垂直座标 σ 由参考态气压定义: $\sigma = (P_0 - P_t)/P^*, P^*(x,y) = P_s(x,y) - P_t$, 其中, P_s 和 P_t 为参考态地面气压和模式顶气压。

D_ω 代表垂直和水平扩散及边界层湍流垂直混合项; DIV 为非静力平衡方案增加的扩散。

图 7 给出模式预报 24 小时(8 月 1 日 08 时) 台风中心附近垂直速度沿图 6d 中 A B 线段(南北向) 所做的垂直剖面图。台风中心为下沉气流, 中心周围眼壁区为上升气流, 上升气流区一直延伸到 300 hPa 高度, 最大上升速度位于 700 hPa。台风中心北面的上升气流比南面的要强, 其最大上升速度分别为 28.5 cm/s 和 21.0 cm/s。

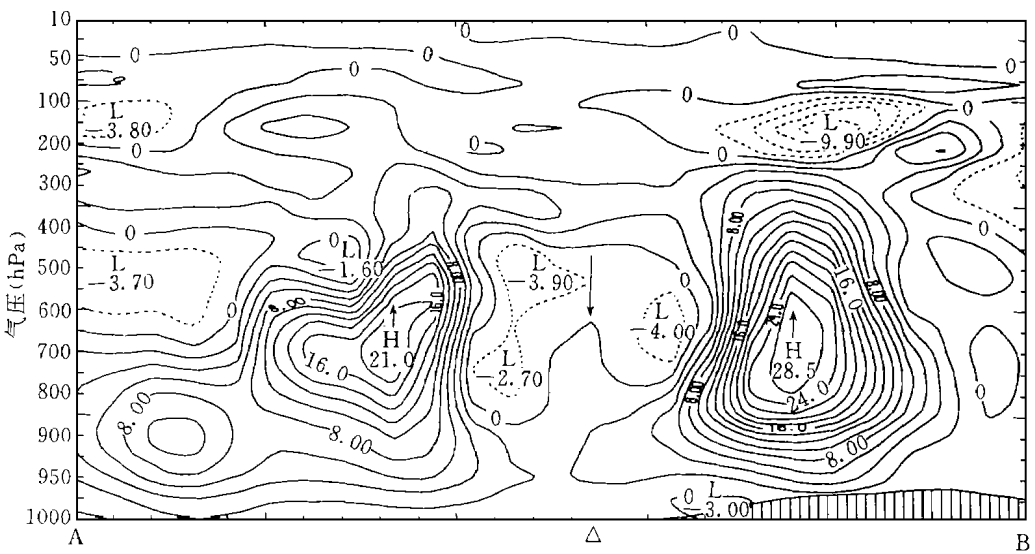


图 7 1996 年 8 月 1 日 08 时沿图 6d 中 AB 线段垂直剖面上的垂直速度 24 小时预报
(单位: cm/s, "△"为该时刻台风中心所在位置(下同))

台风眼壁的上升气流与低层辐合及高层辐散相对应。在同一时刻沿 AB 线段所做的辐散辐合场垂直剖面图上显示, 在 800 hPa 以下的眼壁区为辐合区, 最大辐合中心在台风中心北面的 900 hPa 高度附近, 中心辐合值为 $2.6\times10^{-4}s^{-1}$(图略)。

4.2 台风中心附近的热力场结构

为研究台风中心附近的热力场结构, 首先看用 T63 分析场和实际探空资料得到的客观分析结果。图 8 为 8 月 1 日 08 时客观分析的 700 hPa 位势高度(图 8a) 和沿图 8a 中穿过台风中心的 CD 线段所做的相当位温 (θ_e) 距平(即与同一高度上平均值之差) 垂直剖面(图 8b)。图 8b 上显示, 台风中心为暖湿(正相当位温距平) 区, 最高值在 850 hPa 和 400 hPa 高度。这和刘还珠等[1]分析的结果一致。

MM5 模式预报, 由于其空间分辨率较高, 给出了台风中心附近较为细致的热力场中

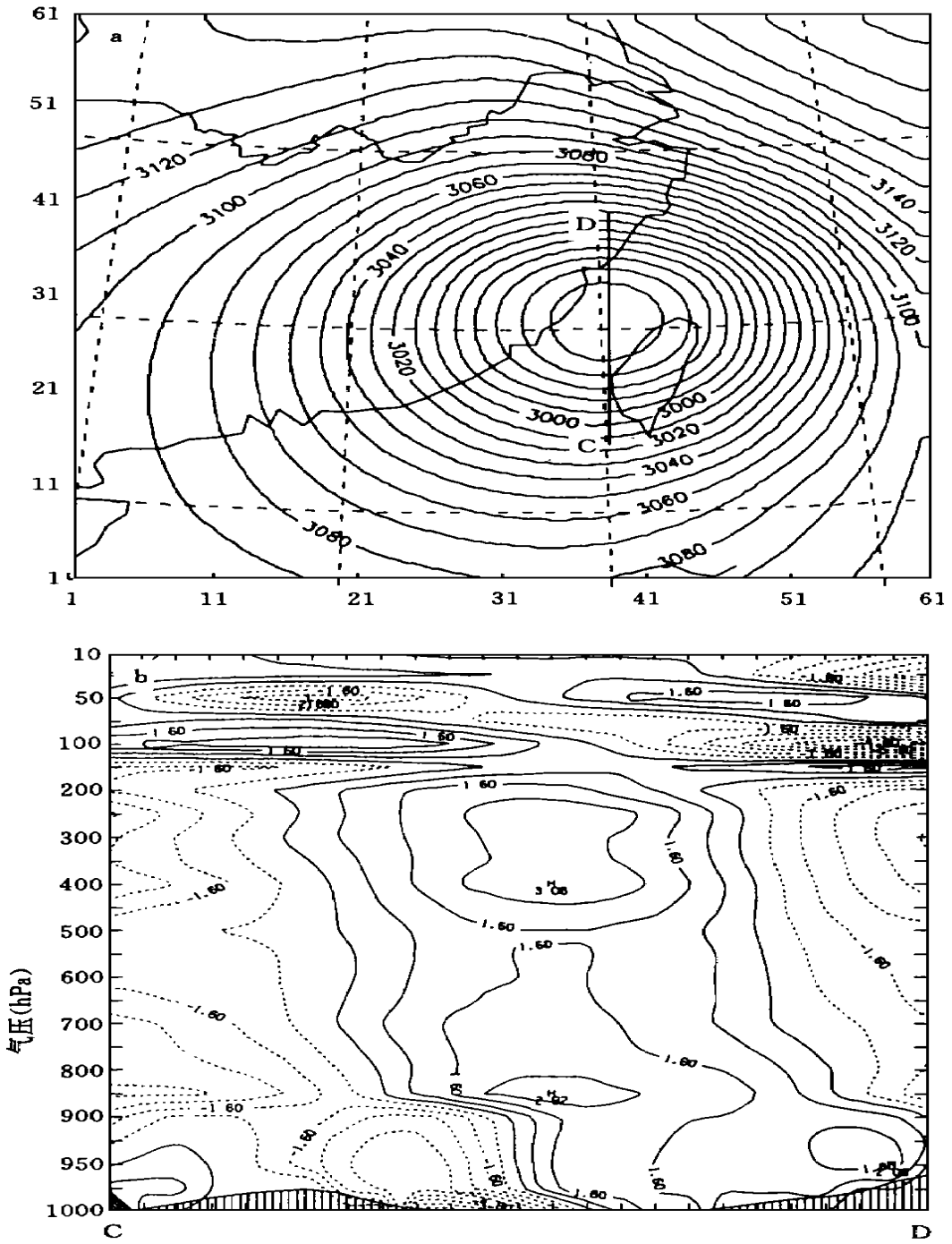


图 8　1996 年 8 月 1 日 08 时 700 hPa 位势高度和 θ_e 距平

(a. 位势高度; b. 沿 CD 线段垂直剖面上的 θ_e 距平。单位: K)

尺度结构。在 8 月 1 日 08 时沿图 6 中 AB 线段所做的 θ_e 距平垂直剖面图(图 9)上显示, 在对流层中层(500～800 hPa), 从台风眼壁到眼中心 θ_e 降低了 7～9 K, 因而使得台风眼中

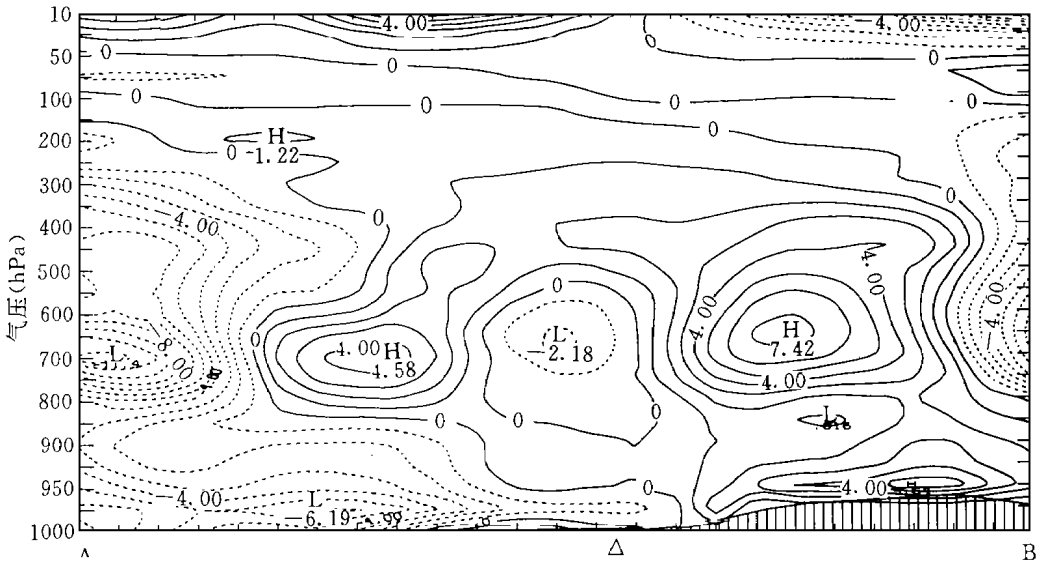


图 9 1996 年 8 月 1 日 08 时沿图 6 中 AB 线段垂直剖面上的 θ_e 距平的 24 小时预报
(单位: K)

心变成相对眼壁的低 θ_e "冷"区(θ_e 绝对值约 344 K), 在对流层低层(950～1000 hPa 左右), 从台风眼壁南部到眼中心 θ_e 提高了约 5 K, 因而使得台风眼中心变成相对眼壁的高 θ_e "暖"区(θ_e 绝对值约 351 K), 这和 Hawkins 等[7] 分析的 1966 年 Inez 飓风眼内相当位温垂直分布趋势非常相似。眼壁在对流层中层(700 hPa 左右) 的暖湿中心(θ_e 352 K) 与最大上升气流(图 7) 和高云雨水浓度区一致。

5 9608 号台风在台湾和福建登陆前后台风中心附近中尺度云和降水结构及其演变

MM5 模式的显式方案中, 除水汽外, 云水和雨水(温度 0℃以下为云冰和雪) 也被作为显式的预报量。水汽、云水(云冰) 和雨水(雪) 混合比的预报方程为:

$$\frac{\partial P^* q_v}{\partial t} = -m^2\left[\frac{\partial P^* u q_v/m}{\partial x} + \frac{\partial P^* v q_v/m}{\partial y}\right] - \frac{\partial P^* \dot{\sigma} q_v}{\partial \sigma} + \delta_{nh} q_v DIV + P^*(-P_{RE} - P_{CON} - P_{II} - P_{ID}) + D_{q_v}$$

$$\frac{\partial P^* q_c}{\partial t} = -m^2\left[\frac{\partial P^* u q_c/m}{\partial x} + \frac{\partial P^* v q_c/m}{\partial y}\right] - \frac{\partial P^* \dot{\sigma} q_c}{\partial \sigma} + \delta_{nh} q_c DIV + P^*(P_{ID} + P_{II} - P_{RC} - P_{RA} - P_{CON}) + D_{q_c}$$

$$\frac{\partial P^* q_r}{\partial t} = -m^2\left[\frac{\partial P^* u q_r/m}{\partial x} + \frac{\partial P^* v q_r/m}{\partial y}\right] - \frac{\partial P^* \sigma q_r}{\partial \sigma} + \delta_{nh} q_r DIV - \frac{\partial V_f \rho g q_r}{\partial \sigma} + P^*(P_{RE} + P_{RC} + P_{RA}) + D_{q_r}$$

其中, P_{CON} 为水面饱和下由水汽凝结成云水(负温度时冻结成云冰) 项; P_{RA} 为雨水碰并

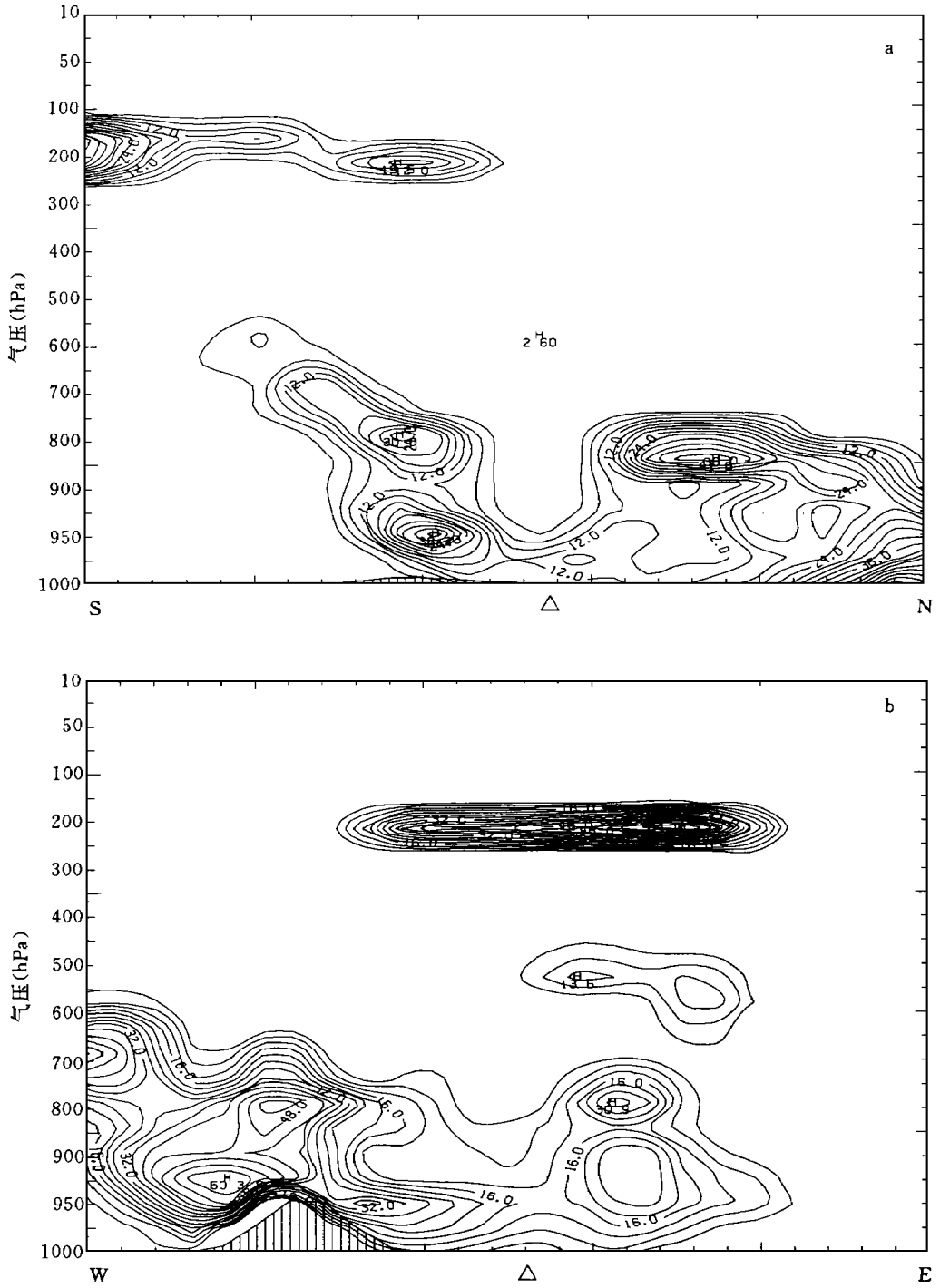


图 10　1996 年 8 月 1 日 02 时预报(18 小时预报) 云水混合比垂直剖面图

(a. 南- 北方向; b. 西- 东方向。单位: 10^{-5} kg/kg)

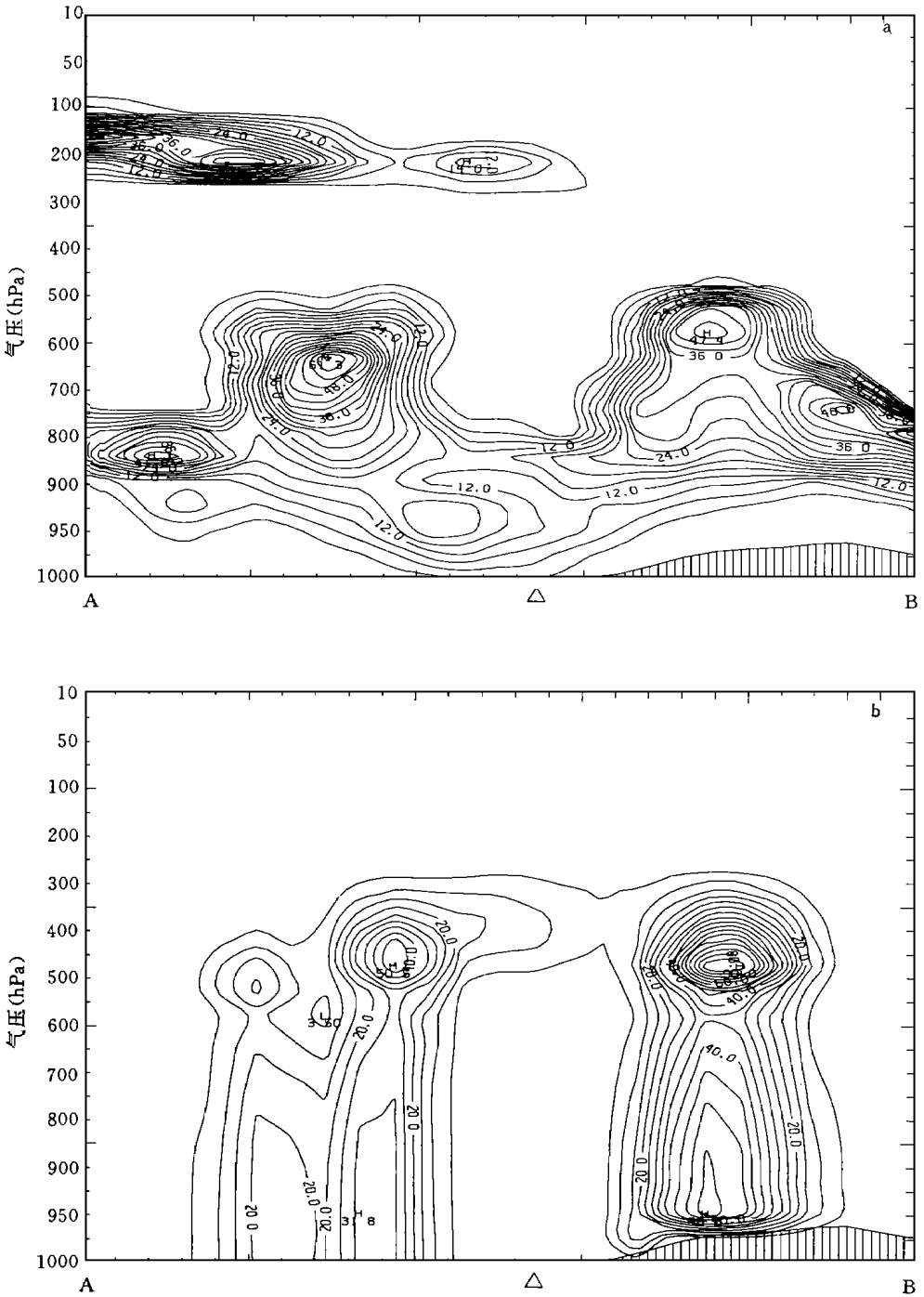


图 11 1996 年 8 月 1 日 08 时预报(24 小时预报)
云水和雨水混合比垂直剖面图(沿图 6 中 AB 线段)
(a. 云水;b. 雨水。单位: 10^{-5} kg/kg)

云水(雪碰并冰晶) 项; P_{RC} 为云水(云冰) 向雨水(雪) 自转化项; P_{RE} 为雨(雪) 的蒸发(升华) 项; P_{II} 为由核化产生的冰晶初值; P_{ID} 为云冰升华 / 凝华项; V_f 为雨或雪的落速 δ_{nh} 在用非静力平衡方案时为 1, 用静力平衡方案时为 0。

因此可以从云水(云冰) 和雨水(雪) 的预报结果来看台风中心附近的云和降水结构及其演变过程。这次台风的模拟预报表明, 在台风到达台湾之前云水和雨水都集中在台风中心外围, 台风中心为无云、雨水的晴空区(图略) 。当台风在台湾北部滞留期间, 云水在对流层低层逐渐向台风中心发展, 因而卫星云图上台风眼变得模糊不清。图 10 给出模式台风移到台湾东北方附近海面上时(1996 年 8 月 1 日 02 时, 位置见图 4, 模式台风比实况落后, 实际台风已在台湾北部登陆) , 沿通过台风中心南北和东西方向所作的云水混合比垂直剖面。可见, 在台风中心已出现低云, 但还集中在 950 hPa 以下。台风越过台湾后, 到 1996 年 8 月 1 日 08 时, 如图 11 所示, 台风中心的低云已向上发展到 800 hPa。从图 6b, d 给出的 1996 年 8 月 1 日 08 时模式预报的 850 hPa 和 700 hPa 等压面上的云水和雨水混合比分布也可见, 此时 700 hPa 等压面上云 水仍然呈环形结构集中在台风中心周围, 而在 850 hPa 等压面上台风中心全部为低云覆盖。

比较图 11 和图 7 可见, 云、雨水主要集中在台风眼壁最大上升气流区, 在这里由于潜热释放形成图 9 中眼壁的暖湿中心。在图 6b, d 中所给出的雨水在等压面上的分布还表现出非均匀分布的中尺度雨团结构。

6　结　论

通过对 9608 号台风登陆前后模拟预报试验, 检验了 MM5 中尺度模式对台风的模拟预报能力, 并模拟出了登陆前后台风中心附近的一些重要中尺度结构和发展演变特征。结果可概括为如下几点:

(1) 非静力平衡中尺度模式 MM5 对登陆台风具有较强的模拟预报能力, 是用来研究台风热力动力过程和云与降水物理中尺度结构的较好的工具, 也能为台风登陆预告提供有价值的依据。

(2) 对 9608 号台风数值研究结果显示的台风中尺度热力动力学结构基本特点为: 台风中心附近低层呈气旋式辐合、高层呈气旋式辐散; 台风眼壁具有强上升气流, 台风中心为下沉气流; 台风中心周围动力结构表现出明显的不对称特征。用天气尺度资料分析的台风中心为暖湿中心, 但高分辨的中尺度模式结果显示出, 在对流层中层, 具有强上升气流和云雨水集中的眼壁, 比台风眼中心更为暖湿的中尺度热力结构。

(3) 对 9608 号台风数值研究还显示了台风中心附近云和降水结构的中尺度特征和发展。结果表明: 云水和雨水分布呈围绕台风中心的环形结构, 环状雨带由不均匀分布的中尺度雨团构成。台风在台湾滞留期间, 由于低层云的发展使得卫星云图上原先清晰可见的台风眼变得模糊不清, 因而使得从卫星云图监测台风中心变得困难。

个例的模拟预报中, 由于海上资料缺乏使得初始场中台风中心定位不准和强度偏弱, 因而影响台风路径和强度的准确预报, 需要在今后的模拟预报中设法加以改进, 如引入卫星观测资料四维通化等。

参考文献

1 刘还珠, 陈德辉, 滕俏彬. 不同物理过程参数化对模式台风的影响及其动力结构研究. 应用气象学报, 1998, 9(2): 141～150

2 Grell G A, Dudhia J and Stauffer D R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, 1994, NCAR/TN- 398+ STR, 138pp

3 陈联寿. 热带气旋运动研究和业务预报的现状和发展. 台风会议文集. 北京: 气象出版社, 1985. 6～30

4 陈联寿, 罗哲贤. 非对称结构与台风移动的若干联系. 台风科学业务试验和天气动力学理论的研究, 第二分册. 北京: 气象出版社, 1996. 371～374

5 罗哲贤, 马镜娴, 王咏青. SPECTRUM 期间目标台风移动的数值试验. 气象学报, 1996, 54(4): 166～173

6 徐祥德, 陈联寿, 解以杨, 亢迪. TCM-90 现场科学试验台风 FLO“β陀螺”“通风流”非对称动力结构特征. 气象学报, 1996, 54(5): 536～543

7 Hawkins H F and Imbembo S M. The structure of a small intense hurricane-Inez 1966. Mon Wea Rev, 1976, 104: 418～442

NUMERICAL STUDY ON THE MESOSCALE STRUCTURE OF TYPHOON HERB 1996

Wang Pengyun Liu Chuntao

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing*, 100081)

Abstract

The track, landfall, dynamic and thermodynamic and cloud-rain physical mesoscale structures and their evolution of typhoon HERB 1996 in 36h from 0000Z 31 July to 1200Z 1 August 1996 were simulated by using the non-hydrostatic mesoscale model MM5. This period covered the process of typhoon HERB landfalling at Taiwan and Fujian province.

Results show that the model successfully simulated the landfall process of typhoon HERB, revealed the most important characteristics of the mesoscale dynamic and thermodynamic and cloud-rain physical structure during its landfalling. The simulated typhoon track was close to the observation. The center of cyclonic circulation simulated at 0000Z on 1 August 1996 (24 h integration) was located in shore near Fuqing, Fujian province at which the typhoon was reported to landfall two hours later. It shows that strong upward motion formed by low level convergence existed in the eye-wall and subsidence at the center of the eye. The wind field shows clear asymmetrical structure near the typhoon center. The cloud and rain water was circlewise distributed in the eye-wall, and constituted by mesoscale rain cores. During the period of typhoon HERB staying near Taiwan, the lower cloud was developed in the eye region so that made the previous clear typhoon eye on the satellite pictures becoming fuzzy. The observations show the typhoon center was warm and moist, but the model simulations with higher space resolution show that in the mid-tropospheric region of eye wall, where existed strong upward motion and more cloud and rain water, it was more warm and moist than in the eye.

Key words: MM5, Typhoon, Mesoscale structure.