

# 一个有限区嵌套细网格模式的设计 及预报结果检验<sup>①</sup>

周天军<sup>②</sup> 钱永甫

(南京大学大气科学系, 南京, 210008)

## 提 要

在钱永甫等研制的  $p-\sigma$  混合坐标系原始方程模式的基础上, 建立、发展了一有限区域的单向影响嵌套细网格数值预报模式, 并选取台风 Wayne 对应的天气形势演变过程为例, 通过与 MM4 模式对同一个例预报结果的比较分析以及统计学检验, 对该模式的预报能力进行了验证。结果表明, 该模式能够较好地预报实际天气形势的演变过程, 各层大气高度场的预报结果与实况的相关系数都超过 0.74。和 MM4 对温压场的预报结果相对比, 二者间只有细节上的区别而没有质的差异, 都能够较为准确地反映出实际大气的演变特征。对风场的预报, 细网格模式的风速值偏小。在降水的预报上, 细网格模式对雨区的预报要优于 MM4; 在大陆的主要雨区, 细网格模式预报的降水量与实况较为接近。

**关键词** 模式 设计 检验 预报

## 1 引 言

为研究地球的大气环流系统, 世界上先后建立了许多数值模式。钱永甫等在 1975—1976 年建立了国内第一个  $p-\sigma$  混合坐标系原始方程模式<sup>[1]</sup>, 并在 1979—1980 年间, 将该模式的垂直分辨率由两层提高到五层, 同时吸收美国芝加哥大学郭晓岚若干物理过程参数化方法, 使模式物理过程由只考虑绝热过程而发展为考虑多种非绝热物理因子, 从而使模式得到进一步完善。

该模式已被广泛地应用于各种大气环流和大气现象的研究, 特别是青藏高原对东亚天气气候的影响、夏季风的发展及气象要素的日变化等<sup>[2-4]</sup>。大量的研究工作表明, 该模式在大气问题的数值研究上具有较好的性能, 先后在美国芝加哥大学、科罗拉多州立大学以及中国科技大学等国内外诸多科研机构得到推广与发展, “七五”期间在我国国家海洋局作为大气边界层风场的预报模式进行了业务化试验。目前该模式仍在进一步的改进和完善之中。

作者等最近在原模式的基础上, 建立了一个有限区域的单向影响嵌套细网格数值预

① 1994-09-15 收到初稿, 1994-12-30 收到修改稿。本文受 85-906-04 攻关课题资助。

② 现址: 中国气象局总体规划研究设计室, 北京, 100081。

报模式。鉴于任何一个数值模式都需进行模拟或预报结果的可靠性检验,故有必要对该模式的预报能力作出客观的评价。

目前,科学机构所公认的合理评价标准,据 R. A. Pielke<sup>[6]</sup>的总结,大致有 4 类:(1)模式解与已知的解析解相比较。(2)模式的非线性模拟结果必须与其它公认的模拟结果相比较。(3)计算模式的质量收支和能量收支,以便决定这些重要物理量的守恒性质。(4)模式预报结果必须定量地与实测结果相比较。其中,(2)、(4)是运用较多的两项标准。为了评价一个数值模式,把一个特例的模拟结果与不同研究组的模式对同例的模拟结果进行比较是有益的。虽然所有的模式都是从守恒方程开始的,但是由于像计算方法、参数化方法以及对守恒方程所特有的简化等方面的差异,就会产生不同的模式方程组。尽管相似的模式其结果未必使实际大气系统能够逼真再现出来,但是,如果研究人员独自利用不同模式能够重复彼此结果的话,那么这种试验对弄清模式性能及研究对象的实际物理过程大有帮助。因此,在扼要地介绍模式构成的基础上,利用 ECMWF 实际资料,选取台风 Wayne 对应的天气形势场演变过程为例,通过与中尺度模式 MM4 对同一个例的预报结果的比较以及统计学分析,对有限区域的单向影响嵌套细网格模式进行了预报检验。

## 2 数值预报模式

### 2.1 有限区域嵌套细网格模式简介

有限区域的单向影响嵌套细网格数值预报模式中,大气模式分为 5 层,在  $p_c = 400\text{hPa}$  以上采用  $p$  坐标系,划分为两层,每层厚度为  $200\text{hPa}$ ; 在  $400\text{hPa}$  至  $(p_s - 50\text{hPa})$  之间,采用  $\sigma$  坐标系,也划分为两层, $\sigma$  定义为

$$\sigma = \frac{(p - 400)}{(p_s - 450)} \quad (1)$$

其中  $p_s$  为地面气压;从  $(p_s - 50\text{hPa})$  至  $p_s$ ,也采用  $\sigma$  坐标系,定义为

$$\sigma_b = \frac{(p - p_s + 50)}{50} \quad (2)$$

该层内不再划分层次,这一层代表大气边界层,厚度为  $50\text{hPa}$ 。因此,模式大气分为 5 层。模式的垂直结构如图 1 所示。

为了较好地反映地-气或水-气的相互耦合作用过程,模式中地面或水面以下的土壤或海洋模式分为表层、深层两层,利用热量守恒和水份守恒原理推导出表层和深层土壤平均温度和湿度的预报方程以及地表温、湿度的计算公式,用来预报地表或水表的温度、土温、水温以及地表和土壤中的含水量。但海洋模式中假定水是静止的,即未考虑水流的动力作用,这对海洋来说,显然是一种近似。

在  $\sigma$  坐标系中,模式方程组可写成如下形式

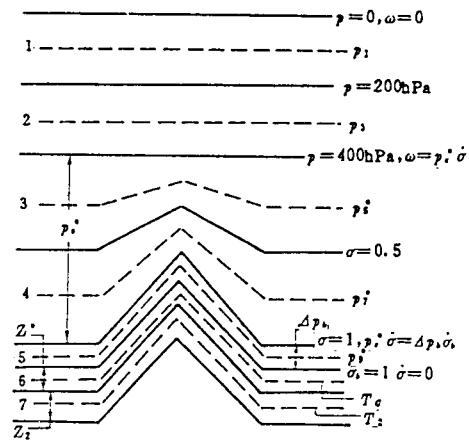


图 1 模式的垂直结构

图中  $\Delta p_b = 50\text{hPa}$ , 为边界层厚度;  
 $p_c = 400\text{hPa}$  为  $p$  坐标系底层气压。

Fig. 1 Schematic illustration of vertical structure of the model.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -D(u) + fv + PGF_x + F_v + R_\sigma(u) \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -D(v) - fu + PGF_y + F_v + R_\sigma(v) \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -D(T) + \frac{R\omega T}{pC_p} + \frac{\varepsilon}{C_p \rho} + F_r + R_\sigma(T) \quad (5)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -D(q) - C + E + F_q + R_\sigma(q) \quad (6)$$

$$\frac{\partial p_\sigma}{\partial t} = -\nabla \cdot p_\sigma^* \bar{V}_4 - 2(50 \nabla \cdot \bar{V}_5 - p_\sigma^* \dot{\sigma}_{\frac{1}{2}}) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} = -\frac{p_\sigma^* RT}{(\sigma p_\sigma^* + 400)} \quad (8)$$

其中  $D(A)$  为平流形式的微分算子, 可写为

$$D(A) = \bar{V}^* \cdot \nabla A + \dot{\sigma} \frac{\partial A}{\partial \sigma} \quad (9)$$

其中  $A$  可为  $U, V, T$  或  $q, R_\sigma(A)$  为增加计算精度的修正项, 其形式为

$$R_\sigma(A) = -\frac{\frac{\partial}{\partial \sigma} \nabla_\sigma \cdot [\rho(\varphi - \varphi_0)(A - A_0) \bar{V}^*]}{p_\sigma^*} \quad (10)$$

$p_\sigma^* = p_\sigma - 450$  是  $\sigma$  坐标系的气压厚度,  $PGF$  是气压梯度力矢量,  $C$  和  $E$  分别表示凝结和蒸发所引起的混合比  $q$  的变化率,  $F$  为湍流扩散项, 包括水平和垂直扩散,  $\varepsilon$  为单位体积空气块中非绝热过程所引起的总能量通量, 它包括太阳辐射、长波辐射以及凝结潜热通量等。未加说明的符号是气象上常用的。

$p$  坐标系和  $\sigma_B$  坐标系中的方程组可由式(3)–(10)得出, 这时, 在  $p$  坐标系中应设  $p_e = 0$  和  $p_\sigma^* = 1$ ; 在  $\sigma_B$  坐标系中, 应设  $\sigma = \sigma_B, p_\sigma^* = \Delta p_B$  以及  $p_e = p_\sigma - \Delta p_B$ 。

土壤或海洋模式部分, 表层和深层土壤平均温度的预报方程以及地表温度的计算公式, 在紧接地表的土壤层中有

$$\rho_s C_s \frac{\partial T_0}{\partial t} Z^* = h_s - h_s^* \quad (11)$$

在第二土壤层中有

$$\rho_s C_s \frac{\partial T_2}{\partial t} Z_2 = h_s^* \quad (12)$$

其中,  $h_s$  为向土壤的热通量,  $\rho_s, C_s, Z^*$  分别表示土壤密度、比热和日变化所能够达到的土壤深度,  $h_s^*$  是通过  $Z^*$  面的热通量,  $T_2$  是厚度为  $Z_2$  的土壤层中的平均温度,  $Z^* + Z_2$  为土壤中温度年变化可以达到的深度。

土壤中湿度的预报方程为

$$p \frac{dW_1}{dt} = \frac{[P - E + \frac{\rho K (W_2 - W_1)}{2 (Z_{s1} + Z_{s2})}]}{Z_{s1}} \quad (13)$$

$$\rho \frac{dW_2}{dt} = - \frac{\rho K(W_2 - W_1)}{\frac{1}{2}(Z_{s1} + Z_{s2})Z_{s2}} \quad (14)$$

其中,  $Z_{s1}$ 、 $Z_{s2}$  分别为土壤的两层厚度,  $W_1$ 、 $W_2$  分别为含水量比,  $\rho$  为土壤层中的单位体积最大含水量(即含水密度),  $K$  为土壤中水份的渗透率,  $P$  和  $E$  分别为降水率和蒸发率, 此处不考虑径流。  $P$  由大气模式预报决定,  $E$  由地表湿润度和大气模式预报的比湿  $q_s$  决定, 可写作

$$E = \rho_s C_o |\vec{v}_s| [q_s(T_s) - q_s] W_s \quad (15)$$

$$W_s = W_1 + \frac{1}{2}(P - E)Z_{s1}/\rho K \quad (16)$$

其中,  $\rho_s$  是大气边界层中密度,  $\vec{v}_s$  是风矢, 当其值小于 1m/s 时取 1m/s, 以防止静风时无蒸发; 当其值大于 5m/s 时取 5m/s, 避免过量蒸发。它们均由大气边界层预报值决定。  $C_o$  是拖曳系数。

侧边界采用单向影响嵌套的倾向订正方案。该方案由 Perkey 和 Kreitzberg<sup>[8]</sup> 于 1976 年提出, 其要点可归纳于下:

(1) 在选定的侧边界过渡区, 任意变量  $x$  的预报由该变量的大尺度倾向  $\frac{\partial \bar{x}}{\partial t}$  与模式所预报的倾向  $\frac{\partial x}{\partial t}$  的加权平均值而定。如下式所示

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)_i^* = W_{(l)} \frac{\partial x}{\partial t}\bigg|_i + [1 - W_{(l)}] \frac{\partial \bar{x}}{\partial t} \quad (17)$$

其中符号“\*”表示订正后的量,  $l$  为外边界 ( $l=1$ ) 沿法向向内的格点序号。  $\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)_i$  为细网格区算得的倾向,  $\frac{\partial \bar{x}}{\partial t}$  为边界内同一格点上由粗网格提供的倾向。

(2) 权重系数随距侧边界之远近而变化, 在过渡区的内侧点为 1, 在侧边界点为 0。取作

$$W_{(l)} = \frac{l - 1}{N - 1} \quad (18)$$

其中  $l$  为外边界 ( $l=1$ ) 沿法向向内的格点序号,  $N$  为松弛区之宽度(格点数)。

(3) 为了克服该方法所固有的侧边界邻区中的短波不稳定增长的现象, 需要配合使用空间平滑。本文对近边界的内两圈进行 5 点迭代平滑, 为了避免地形的虚假影响, 正平滑后再进行反平滑。所用 5 点平滑公式为

$$\bar{u}_{i,j} = (1 - 4s)u_{i,j} + s(u_{i,j+1} + u_{i,j-1} + u_{i+1,j} + u_{i-1,j}) \quad (19)$$

$s$  为平滑系数, 取为 0.125。其中大尺度倾向由 ECMWF 实况资料计算, 最外圈预报量均取实况;  $N$  值取为 6; 每 24 小时嵌套一次, 中间状态取时间线性插值。

模式区域为: 105°E—135°E, 10°N—40°N, 水平格距为 0.5°×0.5°, 使用真实地形及月平均初始海温资料, 下垫面分为陆地和海洋两种。时间积分方案采用 3 小时欧拉后差 2 小时中央差交替进行, 时间步长 2 分钟。

模式中不仅考虑了大气内部的动力学过程以及地形所引起的动力作用, 同时对水汽饱和所引起的大尺度凝结以及条件性不稳定所产生的积云对流凝结两者所释放的潜热、

太阳短波辐射、地气系统长波辐射、地面摩擦和大气内部湍流交换作用均作了考虑。地形的热力作用以及不同物理特性下垫面所产生的影响均包含在模式中。具体说明见文献[7-9]。

## 2.2 中尺度模式 MM4 简介

该模式系统的结构设计、物理过程的参数化等方面内容可参阅文献[10]。所设定的模式区域是：中心点(22.0°N, 120.0°E)；区域四周顶点(11.69°N, 110.23°E)、(11.69°N, 129.76°E)、(31.49°N, 107.21°E)、(31.49°N, 132.78°E)。

模式的水平格距取 60km, 共计 41×41 个格点, 模式顶  $p_t=100\text{hPa}$ 。铅直方向取间隔非均匀的 10 层。

模式中所采用的物理过程主要包括：(1)采用地表热平衡方程处理的地表温度；(2)行星边界条件采用高分辨率模式；(3)采用 Kuo-Anthes 积云对流参数化方案；(4)侧边界条件采用时间变化边界条件；(5)模式中考虑水平扩散、铅直扩散等。

利用经纬网格(2.5°×2.5°分辨率)的 ECMWF 7 层等压面资料, 将格点资料作为站点资料处理, 通过资料的检误、修正和插补、资料的客观分析、铅直内插、侧边界条件的形成等过程得到 MM4 主模式的初始场, 其中侧边界条件的产生是用客观分析好的实际资料在边界处进行线性内插, 计算出侧边界附近气象要素场的时间倾向, 从而产生侧边界条件。

## 3 试验方案和检验方法

选取 Wayne 台风对应的天气形势演变过程为试验个例, 从 7 月 23 号 20 点(北京时间)起, 分别利用有限区域嵌套细网格模式(简称“SGL”, 下同)和中尺度模式 MM4(简称“MM4”, 下同)作出 24 小时预报。通过对 SGL 预报结果的统计学检验以及与 MM4 预报结果的比较分析, 来检验 SGL 模式的预报能力。

统计学检验的标准为误差标准差和相关系数, 设：(1)  $\varphi_i$ 、 $\varphi_{\text{obs}}$  分别是同一格点上的单项预报值和观测值；(2)  $\varphi_o$ 、 $\varphi_{\text{obs}}$  分别是  $\varphi_i$  和  $\varphi_{\text{obs}}$  在某一位面上的平均值；(3)  $N$  是观测点的数目。

定义误差标准差

$$SIDE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N [(\varphi_i - \varphi_o) - (\varphi_{\text{obs}} - \varphi_{\text{obs}})]^2}{N} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

定义高度场的相关系数为

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^N (Z_f - \bar{Z}_f)(Z_o - \bar{Z}_o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Z_f - \bar{Z}_f)^2 (Z_o - \bar{Z}_o)^2}} \quad (21)$$

式中下标“f”表示预报场、“o”表示同一时刻的实况场。其中 0.5°×0.5°分辨率的实况场资料是由 ECMWF 的 2.5°×2.5°分辨率的资料通过双线性插值求得的。

## 4 对试验结果的讨论

### 4.1 高度场预报结果的统计学检验

图 2 是 SGL24 小时预报的高度场(从近地面到高空)与实况的相关性检验结果。由图可见,倾向订正侧边界条件的预报结果要明显优于固定侧边界条件,二者间的差异在对流层中层至近地层要小于对流层中层至大气上层;从大气上层到对流层中层,相关系数逐渐减少,A 线由 100hPa 的 0.829 减少到 450hPa 的 0.747,B 线由 100hPa 的 0.797 减少到 450hPa 的 0.717。但由对流层中至近地层,相关系数又呈逐渐增大的趋势,A 线由 450hPa 的 0.747 增至 850hPa 的 0.898,B 线由 450hPa 的 0.717 增至 850hPa 的 0.879。

可见,SGL 对高度场具有较好的预报能力,倾向订正侧边界条件明显优于固定侧边界条件,前者从 100hPa 高层大气到近地层,与实况的相关性都在 0.74 以上,能够较为准确地预报出实际的天气形势演变过程。

图 3 是 SGL24 小时预报的高度场误差标准差。很明显,倾向订正侧边界条件的预报误差总小于固定侧边界条件的,二者间的差异从大气上层到近地层逐渐减少;由大气低层到高层,误差基本上是呈准线性增大的,A 线由 850hPa 的 20.36 米增至 100hPa 的 30.44 米,B 线由 850hPa 的 20.62 米增至 100hPa 的 39.71 米。

可见,SGL 对高度场的预报,在低层误差较少,而在高层则相对较大,且倾向订正侧边界条件的结果要明显好于固定侧边界条件的,所以下面只分析采用倾向订正侧边界条件时的预报结果。

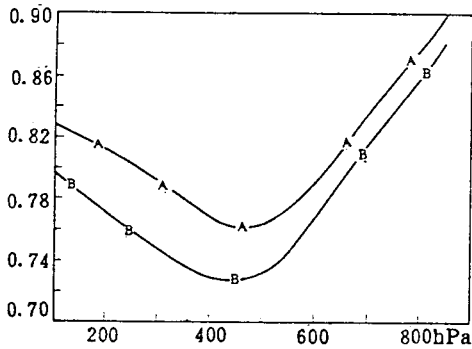


图 2 高度场相关曲线 A 线对应于倾向订正侧边界条件, B 线对应于固定侧边界条件。

Fig. 2 The correlation coefficient curve of geopotential height with time-dependent lateral boundary condition (A) and with fixed lateral boundary condition (B).

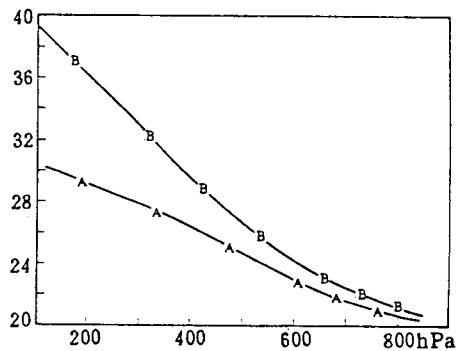


图 3 高度场的误差标准差 A、B 的含义同图 2。

Fig. 3 The standard deviation curve of geopotential height error with the same condition of A and B as in Fig. 2.

### 4.2 温压场预报结果的对比分析

#### 4.2.1 300hPa 高空温压结构的比较

图4是与24小时预报相对应的7月24日20时大范围温高场实况(ECMWF资料)。图5、图6分别是嵌套细网格模式SGL、中尺度模式MM4各自24小时预报结果。

实况图上,东海、东亚大陆上空基本为西太平洋副高所控制,西北地区受西风槽影响。

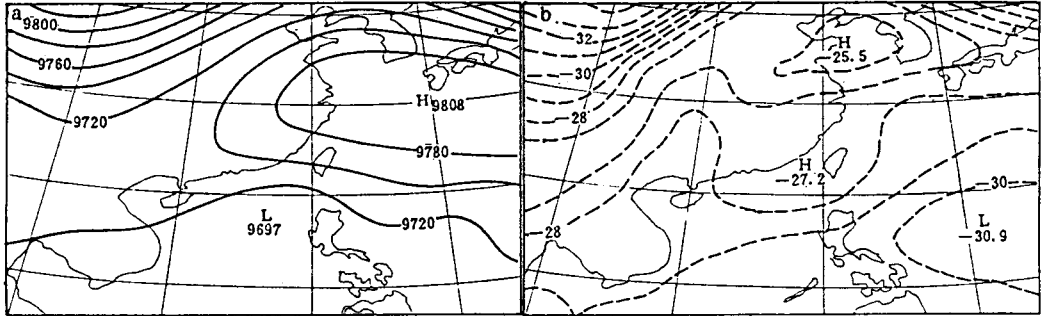


图4 7月24日20时的300hPa温度高度场 a为高度场,b为温度场。

Fig. 4 Fields of temperature (a) and geopotential height (b) at 300hPa at 1200 GMT, 24 July (for Typhoon Wayne).

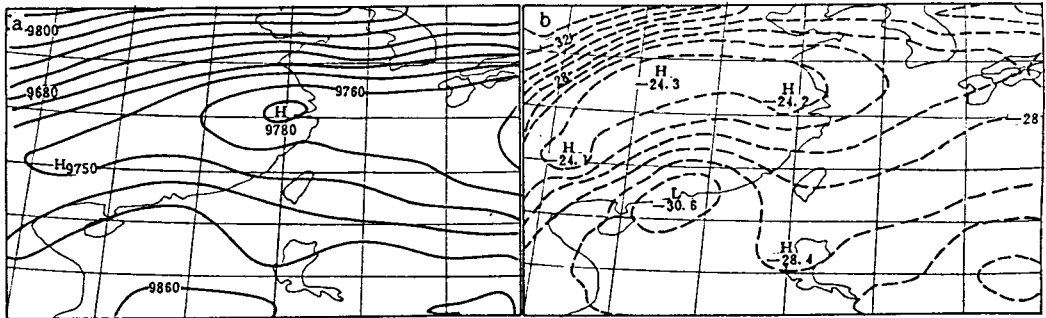


图5 SGL的300hPa预报温度高度场 a为高度场,b为温度场。

Fig. 5 300hPa temperature altitude chart predicted by SGL, (a) geopotential height fields (b) temperature fields.

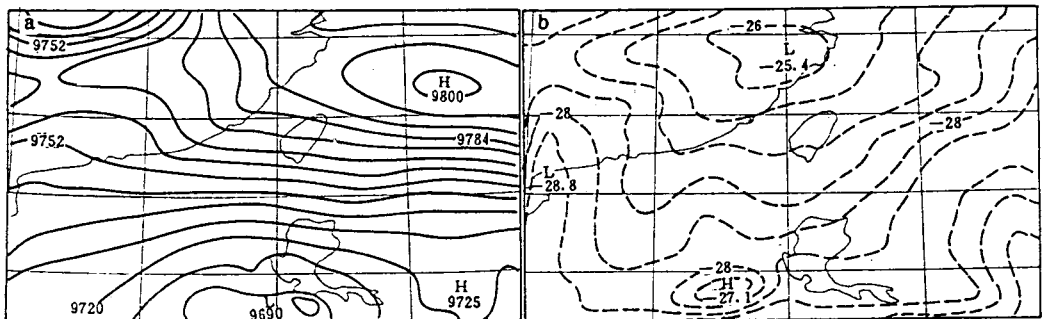


图6 MM4的300hPa预报温度高度场 a为高度场,b为温度场。

Fig. 6 300hPa temperature (a) and geopotential height (b) charts predicted by MM4.

在 SGL、MM4 的结果中,大部分地区受西太平洋副高控制,由于模式区域所限,西风槽的结构已不完整。但总的形势大致与实况相近。预报的副高强度 MM4 强于 SGL,中心位置有些偏南。副高脊线西伸的范围,SGL 过大;MM4 较接近实况。菲律宾西部海洋上的低压结构,MM4 结果较好,强度也接近实际。

温度场实况,胶东半岛、台湾岛西南为高温区,中心温度分别是 $-25.5^{\circ}\text{C}$ 、 $-27.2^{\circ}\text{C}$ ; SGL、MM4 预报结果相近,长江入海口一带都是高温区,中心强度分别为 $-24.2^{\circ}\text{C}$ 、 $-25.4^{\circ}\text{C}$ ,中心位置 MM4 较 SGL 偏南;海南岛东北为低温区,SGL 为 $-30.5^{\circ}\text{C}$ ,MM4 为 $-28.8^{\circ}\text{C}$ 。菲律宾群岛西部高温区,SGL 的值高于 MM4,二者的中心位置略有不同。

从 300hPa 高空形势看,SGL、MM4 的预报结果极为接近,只在细节上略有差异;二者的高度场与实况很接近,温度场略有偏差。

#### 4.2.2 500hPa 对流层中部温压场结构分析

在与 24 小时预报相对应的 7 月 24 日 20 时 500hPa 温压场实况图上(图略),西太平洋副高控制东亚大陆,588 线折向西南,抵雷州半岛北部。菲律宾群岛西北南海上空,为台风低压区。与高度场相对应的西太平洋上空高温带,中心值 $-1.38^{\circ}\text{C}$ ,台风低压中心温度为 $-6.77^{\circ}\text{C}$ 。

SGL 的结果(图略),副高位置基本准确,西风槽结构尚可分辨,南海上的低压漏报。温度场上,大陆高温区东伸影响范围过大,海洋上与副高相应的高温带位置过于偏东。

MM4 的结果(图略),西太平洋副高中心强度略强于实际,西伸影响的大陆地区在范围上较实际略小。较 SGL 有明显改善的是,台风低压结构在 MM4 结果中已报出,强度为 5857 米,略高于实际的 5854 米,位置稍偏南。温度场上,副高控制下海洋上的高温区接近实际,比 SGL 的结果改进明显。菲律宾西部与低压对应的冷中心( $-6.88^{\circ}\text{C}$ )接近实况( $-6.77^{\circ}\text{C}$ ),位置稍偏南。

在 500hPa 上,MM4 对温压场的预报结果整体上好于 SGL,这主要表现在副高控制区的暖中心、台风低压区的温压结构,都是 MM4 的预报结果较好,对西太平洋副高控制范围的预报,SGL 要好于 MM4。

### 4.3 风场预报结果的比较

#### 4.3.1 300hPa 高空风场预报分析

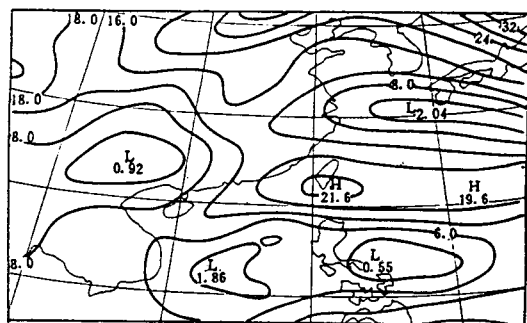
图 7 是与 24 小时预报相对应的 7 月 24 日 20 时高空风等值线图实况。西太平洋副高南缘为西风急流区,风速极大值为 21.6 米/秒,西太平洋副高控制地区风速较小。西南地区有一辐散中心;台风涡旋中心位于菲律宾群岛西北部。

SGL 结果见图 8,副高南缘带状西风急流区位置总的来说偏南,风速极大值为 9.71 米/秒,较实况小。副高控制区内风速分布接近实况,但风速偏小。台风涡旋中心未报出。

MM4 结果见图 9,副高南侧西风急流区。风速值与实况接近,极大值 21.0 米/秒。副高控制区风速分布接近实况。大陆上的鞍状辐散中心位置较 SGL 结果明显改进。台风涡旋结构未报出。海南岛北侧大陆上的 23.6 米/秒急流区明显不同于实况,属错报。

在 300hPa 高空风场上,定性地说,从急流区分布及风场结构上看,SGL 和 MM4 的结果都接近实况,MM4 稍好于 SGL。定量地讲,急流中心的风速值,MM4 结果和实况接近,而 SGL 相差较大,其风速预报值偏小。





在与该次天气过程相对应的 1983 年 7 月 24 日的地面降水实况图上,由 23 日 08 时至 24 日 08 时,从我国西南昆明沿贵阳、长沙向东北方向延伸至胶东半岛南侧,为大范围的带状降水区域。雨区中心集中在阜阳、连云港直抵东海一线,24 小时降水最多达 69.0mm。贵阳附近暴雨中心的 24 小时总降水达 98.0mm。

图 10、图 11 分别给出了 MM4 和 SGL 的降水预报结果(0-6 小时、18-24 小时预报累计降水图略)。

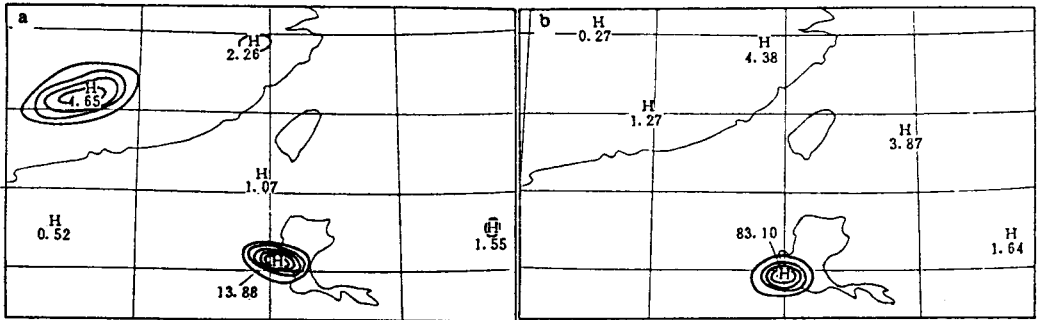


图 10 MM4 的预报降水场 a, 6-12 小时累计降水; b, 12-18 小时累计降水。

Fig. 10 Accumulative rainfall in MM4-predicted precipitation fields for 6-12h(a) and 12-18h(b).

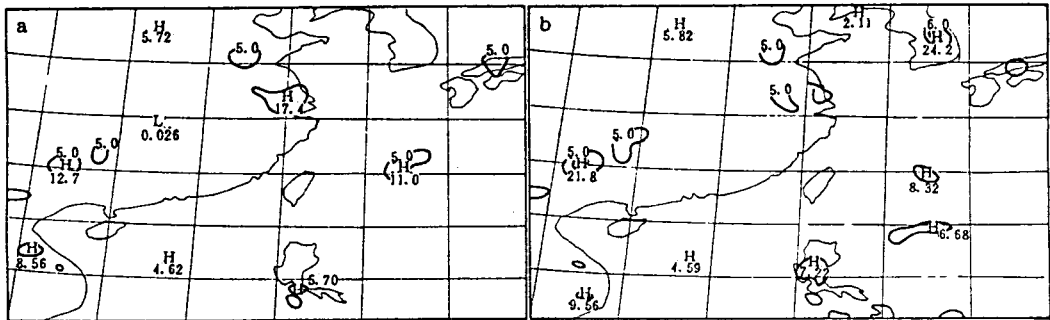


图 11 SGL 的预报降水场 a, 6-12 小时累计降水; b, 12-18 小时累计降水。

Fig. 11 Same as Fig. 10 except in fields predicted by SGL.

从降水的落区上看,长江下游、华南的雨区,MM4 和 SGL 预报得都较为接近实况。但相对之下,MM4 华南降水中心偏东,SGL 的位置更合实际;SGL 对分散的小块雨区的预报也要好于 MM4;对苏北、鲁西雨区 SGL 预报得都较为准确;总的来说,西南至东北向的带状雨区结构在 SGL 的预报中得到了较为明显的体现。受模式区域的限制,雨区的带状分布在 MM4 结果中不甚明显。另外,降雨的时段二者间也有所不同。

在降水量上,MM4 和 SGL 有所差异。比较菲律宾群岛上的强降雨中心,MM4 预报的 24 小时总降水量高达 119.5mm,相比之下,SGL 在该地区的 24 小时预报总降水量则为 32.7mm,差距是显然的,受实际资料所限,目前无法将之与实况相比较;但在大陆上的雨区,SGL 的预报降水量较为接近实际,这从西南地区的 63.0mm/24h 预报降雨中心、苏北 58.5mm/24h 预报降雨中心上可以很明显地看出,特别是苏北 58.5mm 降水中心与实况的 65.0mm/24h 很是接近。

因此,在雨区的分布上,SGL 较 MM4 要合理一些,特别是 SGL 对一些小块雨区也能

够较好地预报出,这可能主要是因为 SGL 是在气候学模式的基础上改进发展的,其中较为完整地考虑了太阳短波辐射、地气系统长波辐射、水汽凝结加热作用、地形的热力作用以及不同物理特性下垫面的影响等各种非绝热物理过程的缘故。非绝热性是与全球性并列的气候问题的两大特征之一,是否考虑非绝热物理过程是气候模式和天气预报模式的主要区别,在短期天气过程的演变中非绝热物理过程通常被认为不重要而可忽略,但作者等最近的研究表明,非绝热过程对短期预报仍具有一定的影响,特别是在降雨的预报上,对此作者将另文讨论<sup>①</sup>。对降水量的预报,MM4 和 SGL 有所差异,在有些地区甚至相差很大,但对大陆上的雨区,SGL 的结果与实况较为接近。

## 5 结 论

(1)有限区域单向嵌套细网格模式对天气形势的演变过程具有较强的预报能力,采用倾向订正侧边界条件时,从大气高层到近地层,预报高度场与实况的相关系数都超过 0.74。且相关性从大气高层到近地层波动较大,在对流层中层 450hPa 附近最差。从 850hPa 低层到 100hPa 高空,高度场预报的误差呈准线性增加的趋势。

(2)对温压场的预报,MM4 和 SGL 的结果都较接近实况,其中高度场的预报又好于温度场。在大气上层,两种模式的预报结果无明显差别;在对流层中层,MM4 预报效果好于 SGL,表现在副高控制下的暖区分布、台风低压区的温压结构,MM4 结果更为合理。但对西太平洋副高活动的预报,SGL 的预报结果较为理想。

(3)对风场的预报,在量值上,MM4 预报的风速值普遍大于 SGL,也更符合实际,而 SGL 预报风速则偏小。对风速急流区和风场结构的定性描述,在大气上层 SGL 好于 MM4,在中层 MM4 好于 SGL。

(4)对于雨区分布及降水量的降报,SGL 和 MM4 有所不同,雨区的分布 SGL 要好于 MM4,较合实际;在大陆上的主要雨区,SGL 预报的降水量与实况较为接近。

## 参 考 文 献

- 1 钱永甫,颜 宏,骆启仁,等. 一个有大地形影响的初始预报模式. 大气科学,1978,2:91-102.
- 2 Kuo H L, Qian Y F. Numerical simulation of the development of mean monsoon circulation in July. *Mon. Wea. Rev.*, 1982,110: 1879-1897.
- 3 Kuo H L, Qian Yongfu. Influence of the Tibetan Plateau on cumulative and diurnal changes of weather and climate in summer. *Mon. Wea. Rev.*, 1981,109:2337-2356.
- 4 王谦谦,钱永甫. 青藏高原大地形对夏季东亚大气环流的影响. 高原气象,1984,3: 13-26.
- 5 Pielke R A. 中尺度气象模拟(中译本). 北京:气象出版社,1990.
- 6 Perkey D J, Kreitzberg C W. A time-dependent lateral boundary scheme for limited area primitive equation model. *Mon. Wea. Rev.*, 1976,104:744-755.
- 7 Qian Yongfu. A five-layer primitive equation model with topography. 高原气象,1985, NO. 2(增刊): 1-28.

<sup>①</sup> 周天军等. 短期预报中的非绝热过程影响(待发表)

- 8 钱永甫. 气候变化中下垫面作用的数值模拟. 大气科学, 1993, 17:283-293.
- 9 钱永甫. 地气耦合系统中温湿变化的数值模拟. 气象学报, 1991, 49:538-547.
- 10 郑维忠, 苏炳凯, 潘易农. 中尺度模式 MM4 模拟系统介绍. 南京: 南京大学出版社, 1992.

## THE DESIGN AND FORECAST VERIFICATION OF AN ONE-WAY NESTED FINE-MESH LIMITED AREA NUMERICAL MODEL

Zhou Tianjun Qian Yongfu

(*Nanjing University, Department of Atmospheric sciences, Nanjing, 210008*)

### Abstract

Based on a five-layer primitive equations model with P- $\sigma$  incorporated coordinates and topograph designed by Qian et al.,<sup>[1]</sup> an one-way nested fine mesh limited area model was developed. It was statistically verified and compared with MM4 in terms of results of the same evolutionary process of synoptic situation for Typhoon Wayne to assess the forecast skill. The result shows that the model relatively well predicts the actual situation, with correlative coefficients exceeding 0.74 between the forecast and observation for all layers of geopotential height. Both having good reflection of atmospheric reality, difference in the detail rather than the nature is found between the fine-mesh model and MM4 with respect to the temperature and pressure. The former gives weaker winds but better rainfall area prediction as compared to MM4; it is closer to the reality in the forecast of the amount of rainfall centers.

**Key words** Model Design Verification Forecast