

区域中 α 尺度数值预报业务系统 及其预报试验

潘晓滨 肖庆农 魏绍远 黄雅辉

(空军气象学院, 南京 211101)

马华平 郭卫东 崔春山 茅卫平 李振军

(空军气象中心, 北京 100843)

摘 要 本文建立一个区域中 α 尺度数值预报业务系统, 对其各模块技术方案进行了介绍, 并给出 1994 年 1~10 月共 10 个月的预报统计检验分析和不同季节里三个典型天气学个例的试验结果。系统自投入业务运行以来, 运行稳定可靠, 对天气形势、降水尤其是暴雨有较好的预报能力, 在日常航空气象保障工作中取得明显效果; 此外, 该业务系统也非常适合广大台站的计算条件, 具有一定应用推广价值。

关键词 中 α 尺度数值预报 业务系统 预报试验

1 引言

随着计算机科学的发展, 数值天气预报业务得到迅速的发展和完善, 在中尺度数值天气预报方面, 中 α 尺度 (200~2000 km) 数值预报业务化已成为现实。适合于中 α 尺度的数值预报模式很多, 目前, 这类模式主要借助于大尺度数值模式的细网格化, 并且引进大气物理过程参数化, 模式控制方程及初值处理, 带有明显的准静力和准水平特征, 由于它能预报大尺度数值天气预报难以分辨的中 α 尺度天气现象, 因而这类模式发展很快, 其中由美国大气研究中心 (NCAR) 和宾夕法尼亚大学联合研制的 MM4 因其对中尺度系统有较强的模拟能力而在国内外得到广泛的应用^[1]。我国许多的气象部门已用 MM4 作中尺度预报^[2], 但是, 由于 MM4 最初是针对美国的情况进行研制的, 有些处理方案 (如地形、湿过程等) 在东亚地区不完全适用, 因此, 完善针对我国实际情况建立的中尺度模式也是提高目前我国中 α 尺度数值预报效果的出路之一。

我们于 1980 年引进中科院大气物理所周晓平的五层细网格原始方程模式^[3], 十几年来, 进行了大量的数值试验和个例分析, 尤其是在“华东中尺度天气试验”期间, 对梅雨降水、飑线和台风倒槽诱发低压及暴雨等多种天气进行数值模拟^[4], 并根据试验结果对模式作了较大的改进和发展, 如提高模式的分辨率, 改进侧边界的处理方法等, 获得了较好的结果。我国地形复杂, 山地高原面积占三分之二左右, 特别是青藏高原对我国南来北往的气流运行有较大的影响, 因而地形处理好坏对区域性中尺度数值预报就显得尤为重要, 为了将真实地形引入数值预报模式, 现在的模式采用了广义的 σ 坐标

系,对 σ 坐标系中气压梯度力采用 Corby 格式计算,同时,变量在水平和垂直方向上均采用跳点网格分布,把静力方程对时间微分一次,使得高度变化由温度变化求得,减少从静力方程中温度求位势高度场的误差,从而提高气压梯度力的计算精度。物理过程引进包括大尺度凝结、对流参数化、边界层过程参数化、辐射参数化等。发展了与模式相配套的前后处理过程,包括气象报文的收集、整理、选站、资料检误和规格化处理、最优插值客观分析、非线性正规化初值化、数值预报产品后处理、诊断分析、预报效果客观检验统计、图形显示及输出,从而实现了数值预报模式的自动化、业务化。

中尺度数值预报业务系统(以下简称 MMAF)自 1994 年 1 月起先后在 3 家业务部门投入准业务运行,考虑到目前业务部门的实际计算条件,我们分别在微机、工作站及 Convex C-120 计算机上开发了系统的业务化流程,其中在 486/33 微机上运行 24 h 预报需 3 h 20 min,在 486/66 微机上需 1 h 40 min,SGI 工作站上系统运行 46 min,在 Convex C-120 计算机上需运行 1 h 20 min。计算结果表明:MMAF 运行稳定可靠,即使在 486 微机上也能赶上预报时效,且预报效果良好,有应用推广价值。本文首先介绍系统主要模块的技术方案及处理方法,然后给出试验统计结果和有关个例的分析结果。

2 系统的前期处理过程

MMAF 的前期处理过程包括原始资料的网络传输和格式转换、资料的质量控制、多元最优插值方案、有限区域隐式非线性正规化初值化。

2.1 原始资料自动收集、资料的格式转换

根据空军气象中心的通讯情况,直接从中心转报系统接收国家气象中心的每日两个时次(08、20 北京时)高空报和地面报。在准业务试验中,我们选择亚欧 826 个地面站、472 个高空站资料,按数值预报格式要求进行资料格式转换,形成可读的气象报文数据文件;同时,将原始气象资料自动整理归档,按照年、月、日、时和报文类型进行存贮,形成原始气象资料库,供检验和客观分析使用。

2.2 观测资料的质量控制

着重对 08、20 时(北京时)地面报和高空报的海平面气压及 925~100 hPa 各标准等压面上的位势高度、温度、温度露点差、风向和风速基本观测进行质量控制。采用了极值检查、垂直内插一致性检查和水平一致性检查等方法。

2.3 最优插值客观分析方案^[5]

本方案中预备场的形成采用对观测资料使用曲面拟合方法获得,再结合逐步订正法思想,用最优插值方法进行多次内插,即在曲面拟合基础上,进行一次最优插值,把第一次最优插值结果作为第二次插值的预备场,依次逐次插值。通过这种处理,使得分析精度逐步提高,从而获得比较理想的客观分析结果。实际业务工作中一般迭代两次就可以达到足够的精度。

在观测质量控制基础上,本方案对地面和空中 925~100 hPa 各标准等压面的基本物理量进行分析,其中对地面物理量场和空中相对湿度采用二维单变量最优插值方案,对高度场、温度场、风场 u 、 v 分量采用多元最优插值方案。

2.4 隐式非线性正规化初值方案

非线性正规化初值化方法基本思想是对初值中的高频重力波进行调整, 使得调整后初始时刻的重力波分量时间倾向为零, 从而有效地抑制了由于初值不平衡造成在积分初期出现的大振幅高频振荡。本方案根据 Bourker 等^[6]、Temperton^[7]和薛纪善等^[1]的思想, 设计了有限区域初值化方法, 取得了明显的效果。

3 数值预报模式

3.1 模式方程组

模式采用广义 σ 坐标系中的三维、静力平衡原始方程组, $\sigma = (p - p_t) / p^*$, p 为气压, p_t 为模式层顶气压, $p^* = p_s - p_t$, p_s 为地表面气压。

水平运动方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p^* u}{m} \right) = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^* u}{m} u \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^* v}{m} u \right) \right] - \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{p^* \dot{\sigma}}{m} u \right) \\ & + f \left(\frac{p^* v}{m} \right) - p^* \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{RT_v \sigma}{\sigma p^* + p_t} \frac{\partial p^*}{\partial x} \right) + \frac{p^*}{m} F_{hu} + \frac{p^*}{m} F_{vu}, \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p^* v}{m} \right) = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^* u}{m} v \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^* v}{m} v \right) \right] - \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{p^* \dot{\sigma}}{m} v \right) \\ & - f \left(\frac{p^* u}{m} \right) - p^* \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} + \frac{RT_v \sigma}{\sigma p^* + p_t} \frac{\partial p^*}{\partial y} \right) + \frac{p^*}{m} F_{hv} + \frac{p^*}{m} F_{vv}, \quad (2) \end{aligned}$$

m 为地图投影因子, F_h 和 F_v 分别为水平、垂直扩散项。

热力学方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p^* c_p T}{m} \right) = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^* u}{m} (c_p T + \Phi) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^* v}{m} (c_p T + \Phi) \right) \right] \\ & - \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{p^* \dot{\sigma}}{m} (c_p T + \Phi) \right) + \frac{1}{m} \left(\frac{p^* \sigma}{\sigma p^* + p_t} RT_v - \Phi \right) \frac{\partial p^*}{\partial t} \\ & + p^* u \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{RT_v \sigma}{\sigma p^* + p_t} \frac{\partial p^*}{\partial x} \right) + p^* v \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} + \frac{RT_v \sigma}{\sigma p^* + p_t} \frac{\partial p^*}{\partial y} \right) \\ & + \frac{p^* L}{m} Q + \frac{p^* c_p}{m} F_{ht} + \frac{p^* c_p}{m} F_{vt}, \quad (3) \end{aligned}$$

式中 $c_p = c_{pd}(1 + 0.8q_v)$ 为湿空气定压比热, c_{pd} 为干空气定压比热, q_v 为水汽混合比, Q 为非绝热加热, F_{ht} 、 F_{vt} 分别为热量的水平、垂直混合项。

水汽方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p^* q}{m} \right) = & -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^* u}{m} q \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^* v}{m} q \right) \right] - \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{p^* \dot{\sigma}}{m} q \right) \\ & + \frac{p^*}{m} Q + \frac{p^*}{m} F_{hq} + \frac{p^*}{m} F_{vq}, \quad (4) \end{aligned}$$

1) 薛纪善等, 1992, 有限区域数值预报模式的初值形成试验, 75-09-01 中期数值预报研究课题技术报告

连续方程

$$\frac{\partial \dot{p}^*}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u / m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v / m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* \dot{\sigma}}{\partial \sigma}. \quad (5)$$

静力平衡方程

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \ln(\sigma + p_1 / p^*)} = -RT_v, \quad (6)$$

式中 $T_v = T(1 + 0.608q_v)$ 。

静力平衡方程对时间微分一次得

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) = -\frac{R}{\sigma p^* + p_1} \left(p^* \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{p_1 T_v}{\sigma p^* + p_1} \frac{\partial p^*}{\partial t} \right), \quad (7)$$

$\dot{\sigma}$ 的诊断方程

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{\pi \dot{\sigma}}{m} = -m \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^* u}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^* v}{m} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p^*}{m} \right). \quad (8)$$

式中

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p^*}{m} \right) = -m \int_0^1 \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^* u}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^* v}{m} \right) \right] d\sigma. \quad (9)$$

3.2 差分方案

3.2.1 水平网格结构

水平网格系统采用 Arakawa B 型网格, 将动量 $(p^* u)$ 、 $(p^* v)$ 定义在“圆点”上, 而其它变量定义在“叉点”上, 如图 1 所示。

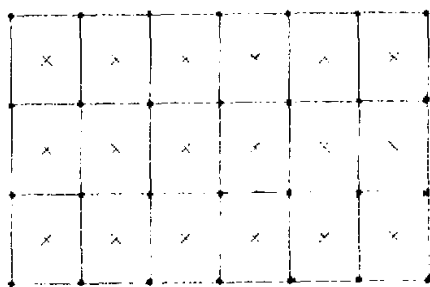


图 1 模式水平网格结构
 u 、 v 定义在“O”点, 其它变量定义在“X”点上

这种网格系统对气压梯度力及水平散度计算有较高的精度。模式的水平区域及格点总数是可变的, 本系统采用网格总数为 71×51 , 网格距为 110 km。

3.2.2 垂直网格结构

本模式垂直分层为 11 层, 采用等距分层, $\Delta\sigma = 1/11$, 如图 2。各变量在垂直方向上也是交替分布的, 其中垂直速度放在整 σ 层上, 而其它变量放在半 σ 层上。

3.2.3 差分方程组

差分方案的设计保持了质量及动量的守恒, 并近似满足总能量守恒^[1]。

3.2.4 时间积分方案

时间积分取中央差和欧拉后差交替进行, 时间积分步长为 3 min。

3.2.5 边界条件

假设上、下边界无质量交换, 即 $\sigma = 0$ 和 $\sigma = 1$ 时, 取 $\dot{\sigma} = 0$ 。水平边界条件采用海绵边界条件, 其计算公式为

$$p_r = \int_t^{t+\Delta t} \int_0^1 \frac{C p^*}{g \rho_w} d\sigma dt, \quad (15)$$

式中 α 是无因次的经验系数, $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$ 是水的密度。

3.3.4 对流参数化

本模式中采用了 Kuo^[11]型积云对流参数化, 并参考国内外有关方法进行了改进, 对于有关计算, 湿润因子 b 采用类似于 Hovermale 在美国国家气象中心 (NMC) 业务预报中的方法, 定义 b 为 $\bar{H}_r$ 的分断线性函数,

$$b = \begin{cases} 1.0, & \bar{H}_r < 0.25 \\ 1.0 - 2.8(\bar{H}_r - 0.25), & 0.25 \leq \bar{H}_r < 0.5 \\ 0.3 - (\bar{H}_r - 0.5), & 0.5 \leq \bar{H}_r < 0.8 \\ 0.0, & \bar{H}_r \geq 0.8 \end{cases} \quad (16)$$

其中,

$$\bar{H}_r = \frac{\int_0^1 q d\sigma}{\int_0^1 q_c d\sigma}. \quad (17)$$

计算积云内部温度 T_c 和比湿 q_c 时, 首先计算出云底 (LCL) 上温度 (经验公式) 和比湿

$$(T_c)_{\text{LCL}} = T_0 - 1.21(T_0 - T_{d0}), \quad (18)$$

$$(q_c)_{\text{LCL}} = q_s[(T_c)_{\text{LCL}}], \quad (19)$$

式中 T_0 代表地面温度, T_{d0} 地面露点。

在知道了云底的温度和比湿之后, 用迭代方法求出云内各层高度上的温度和比湿, 首先设气块从云底干绝热上升, 即

$$(T_c)_k^d = (T_c)_{k+1} \left(\frac{p_k}{p_{k+1}} \right)^{R/c_p}, \quad (20)$$

$$(q_c)_k^d = (q_c)_{k+1}. \quad (21)$$

然后再对求出的 $(T_c)_k^d$ 、 $(q_c)_k^d$ 进行订正

$$(T_c)_k = (T_c)_k^d + \frac{L}{c_p} \frac{(q_c)_k^d - q_s[(T_c)_k^d]}{1 + \frac{L}{c_p} \frac{d}{dT} q_s[(T_c)_k^d]}, \quad (22)$$

$$(q_c)_k = (q_c)_k^d - \frac{(q_c)_k^d - q_s[(T_c)_k^d]}{1 + \frac{L}{c_p} \frac{d}{dT} q_s[(T_c)_k^d]}. \quad (23)$$

为了保证一定的精度, 对上述过程进行迭代计算。

3.3.5 地形的处理

模式中所用地形是由 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度网格地形资料双线性插值得到, 最大地形高度为 5320 m, 最大地形坡度为 2.77%。

地面气压是根据海平面气压 P_0 、地形高度 H_s 、850、700、500 hPa 虚温计算得到的, 其计算公式为

$$p_s = p_0 \exp\{-gH_s / [R(T_s + T_0)/2]\}, \quad (24)$$

式中 T_s 为不考虑日变化影响的近似地面温度, T_0 为虚构的海平面温度最后估值。

模式考虑地形之后, 水平气压梯度力项的计算就显得特别重要, 我们采用 Corby 差分格式计算

$$-p^* \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} + \frac{RT_v \sigma}{\sigma p^* + p_t} \frac{\partial p^*}{\partial x} \right) \rightarrow -\overline{p^{*-1}} \left(\overline{\Phi_x} + \frac{RT_v}{\overline{p^{*-1}} + p_t / \sigma} \overline{p_x^*} \right), \quad (25)$$

$$-p^* \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} + \frac{RT_v \sigma}{\sigma p^* + p_t} \frac{\partial p^*}{\partial y} \right) \rightarrow -\overline{p^{*-1}} \left(\overline{\Phi_y} + \frac{RT_v}{\overline{p^{*-1}} + p_t / \sigma} \overline{p_y^*} \right). \quad (26)$$

4 预报结果后处理

后处理过程包括插值、诊断分析、检验评分和图形显示输出。其中将预报结果从模式的等 σ 面垂直插值到标准等压面上, 主要参考了 ECMWF 的插值技术, 采用线性内插与二次内插相结合, 以及考虑地形的外插方案, 经插值和计算得到各标准层的位势高度、温度、比湿、风场 u 、 v 分量以及海平面气压场; 检验评分以每日 08、20 时(北京时间)客观分析资料作为检验的实况场, 检验 12、24 小时预报结果。形势场检验要素为海平面气压及 925~200 hPa 各标准等压面上的位势高度、温度、风; 检验区域为预报范围内缩三圈的区域; 评分内容包括平均误差 M_E 、均方根误差 R_E 、相关系数 T_E 、误差标准差 S_E ; 降水预报评分对 24 小时累计降水按等级进行统计检验, 包括 TS 评分、降水预报偏差 B、漏报率 PO、空报率 NH、预报效率 EH。此外, 为了提高系统的可使用性, 专门开发了一套人机界面友好的数值预报专用图形显示、输出软件包, 该软件包所有提示和状态信息全部由汉字显示, 操作者一目了然, 所有操作均可通过鼠标进行选择, 最大限度地减少了由于人工操作而产生的失误。

5 预报试验结果

为了检验 MMAF 业务系统的稳定性和预报结果, 从 1994 年 1 月起先后在空军气象学院、南京军区气象室和空军气象中心利用每天收集到的常规气象资料制作 24 小时预报, 从目前三个单位的业务试验情况看, 系统各部分运行稳定, 没有出现系统非正常运行中断现象, 出图率达 100%, 系统模式对天气形势和降水均有较好的预报能力。

文中对在南京空军气象学院 10 个月试验结果进行了统计, 试验中不同季节里三个典型天气过程分析, 可进一步说明该业务系统的预报性能。

5.1 统计检验结果分析

表 1 给出的是本系统 1994 年 1~10 月 24 小时预报统计检验结果, 从表中可以看出

表 1 本系统 24 小时预报统计检验结果
(1994 年 1~10 月)

层次	统计评分结果	M_F	R_F	T_F	S_E
海平面气压		0.8	3.3	0.812	3.5
	850 hPa	1.9	27.6	0.842	26.2
	500 hPa	6.1	34.5	0.949	34.1
	250 hPa	4.0	52.7	0.961	48.7
温度	850 hPa	-0.4	1.5	0.929	1.5
	500 hPa	-0.6	1.5	0.945	1.6
	250 hPa	-0.1	1.8	0.910	1.5
	850 hPa	0.9	5.3	0.434	4.7
风场	500 hPa	1.2	6.6	0.614	6.8
	250 hPa	2.2	12.6	0.799	11.9

本系统海平面气压场逐月 24 小时预报的平均偏差为 0.8 hPa, 表明海平面气压场预报的系统性误差较小; 位势高度场, 其平均相关系数在 500 hPa 以上中高层均大于 0.9, 低层 850 hPa 亦在 0.80 以上, 平均误差 850、500、250 hPa 分别为 1.9、6.1、4.0 gpm, 中、高层偏大一些, 低层比较接近实际情况, 850、500、250 hPa 平均均方根误差分别为 27.6、34.5、52.7 gpm, 高层的均方根误差较大, 但最大的误差也在 60 gpm 以内; 温度场预报的平均相关系数 850、500、250 hPa 各层均在 0.90 以上, 其平均偏差 24 小时预报基本上为负值, 表明温度场 24 小时预报结果比实际场偏低; 风场的平均误差随高度逐渐增大, 平均均方根误差与平均误差相同, 也是随高度增加的; 平均相关系数在 500、250 hPa 中、高层较好, 分别为 0.611、0.799, 低层 850 hPa 差一些, 仅为 0.434。

表 2、3 分别给出的是本系统 1994 年 1~4 月和 5~8 月逐日 24 小时降水量预报客观检验统计结果。由两表可以看出, 本系统对 0.1 mm 等级的降水预报, 5~8 月预报的 TS 评分比 1~4 月高, 降水量预报区域均比实况场偏小, 10 mm 等级降水的预报, 预报区域较 0.1 mm 等级降水更接近实际, 25 mm 以上等级降水 5~8 月预报效率均大于 0.9, 较 1~4 月高, 但对 50 mm 等级降水的预报 5~8 月漏报的情况比 1~4 月多, 不过, 总的来说, 夏季 (5~8 月) 对强的降水 (≥ 25 mm) 预报还是比较好的。

表 2 本系统 1994 年 1~4 月降水客观评分统计结果

系统	等级	TS	B	PO	NH	EH
本系统	0.1	0.378	0.501	0.487	0.031	0.505
	10	0.176	0.777	0.502	0.411	0.823
	25	0.049	0.624	0.530	0.268	0.890
	50	0.003	0.624	0.292	0.052	0.926

表 3 本系统 1994 年 5~8 月降水客观评分统计结果

系统	等级	TS	B	PO	NH	EH
本系统	0.1	0.398	0.675	0.486	0.028	0.532
	10	0.287	0.850	0.423	0.445	0.848
	25	0.150	0.718	0.512	0.275	0.912
	50	0.047	0.634	0.388	0.051	0.939

5.2 天气过程分析

5.2.1 1994 年 3 月 4 日蒙古气旋移动发展过程

1994 年 3 月 4 日 08 时地面图上, 在 52°N, 94°E 附近有一强度为 1010.9 hPa 的蒙古气旋, 从气旋中心到天山南部为一条冷锋, 在我国的济南到青岛附近有一气旋波, 在其东北部有零星降水; 500 hPa 图上为两槽一脊型, 在东亚和乌拉尔山以西上空均为一

大槽, 后者呈近乎于东西走向的横槽, 槽后有较强的冷平流, 5日08时地面图上气旋已移至 51°N , 104°E , 强度加深到 1007.5 hPa , 冷空气从新疆、河西走廊侵入我国, 冷锋从气旋中心延伸至我国西宁, 锋后的酒泉附近有一小冷高压, 强度为 1025.1 hPa , 济南-青岛附近的气旋已移至日本海减弱, 本系统对这次蒙古气旋的移动、发展作了较好的预报。

图3a、b分别是3月5日08时500 hPa客观分析实况和其相应的24小时数值预报图, 可以看出本系统对高纬度西边的槽作了较好的预报, 500 hPa槽移到 80°E 附近, 24小时差不多移了近10个经度, 且槽得到了明显的加深和发展, 预报与实况相符, 并且温度场报得也较好; 图4a为3月5日08时地面客观分析实况, 图4b是24小时地面气压场预报结果, 由图可见, 蒙古气旋中心位置报在 52.5°N , 105°E 附近, 强度为 1007.3 hPa , 位置较实际稍偏北, 但强度与实际很接近, 气旋后部的冷高压, 本系统报得略强; 此外, 我国东部的气旋移出大陆入海以及西南部的低压系统, 本系统都作了较好的预报, 且与实际较为一致。

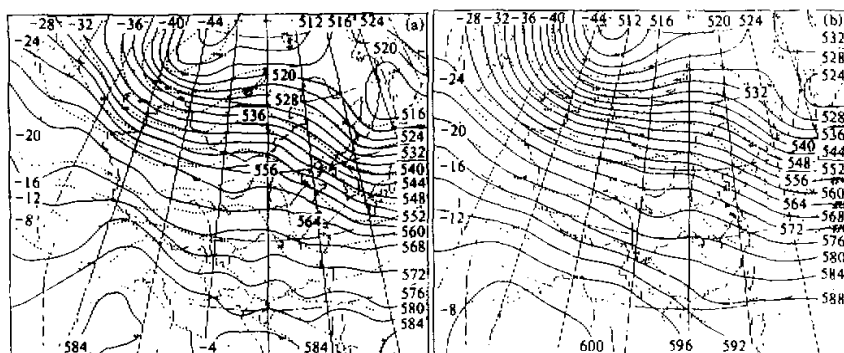


图3 1994年3月5日08时500 hPa形势

(a) 实况; (b) 预报

其中实线为等高线, 虚线为等温线

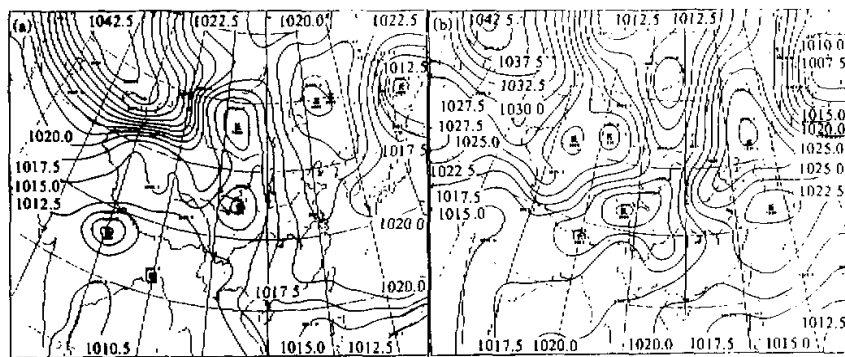


图4 1994年3月5日08时地面气压场

(a) 实况; (b) 预报

5.2.2 1994 年 5 月 13~14 日江淮气旋天气过程

1994 年 5 月 13 日 08 时地面图上, 在湖北宜昌有一江淮气旋生成, 中心值为 1003 hPa, 气旋的后部无明显的冷空气活动, 在华东和重庆、宜昌一带已有一些零星的降水区; 500 hPa 高空图上, 兰州、成都、昆明上空有一短波槽, 高纬度在贝加尔湖上空有一较深的大槽, 我国东北上空维持一暖脊; 14 日 08 时, 我国西南上空的槽移到了济南、汉口、长沙、贵阳一线, 槽后的冷平流较明显, 受此槽的影响, 地面图上江淮气旋移到了江苏盐城附近, 并且得到了发展, 中心值达到 1001.7 hPa, 雨区集中在气旋的西南部。图 5a、b 分别给出的是 5 月 13~14 日 24 小时降水量实况和相应的 24 小时累积降水量预报图, 可以看出, 实况图上气旋的南部有一条东西向的雨带, 在长江口、汉口东南部分别出现了 34.6 mm、107.1 mm 的降水中心, 系统也报出了一条近乎于东西走向的雨带, 位于气旋的西南部, 与实际相符, 分别在长江口、汉口附近、湖南怀化报出了强度为 39.4 mm、79.2 mm、32.5 mm 的降水, 汉口和长江口的降水中心报出来了, 且与实际比较一致。与气旋对应我国东部上空的低槽以及风场预报与实际情况也都比较吻合 (图略)。

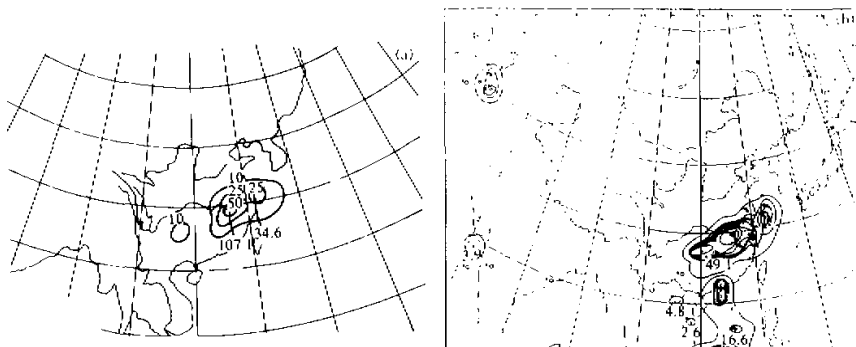
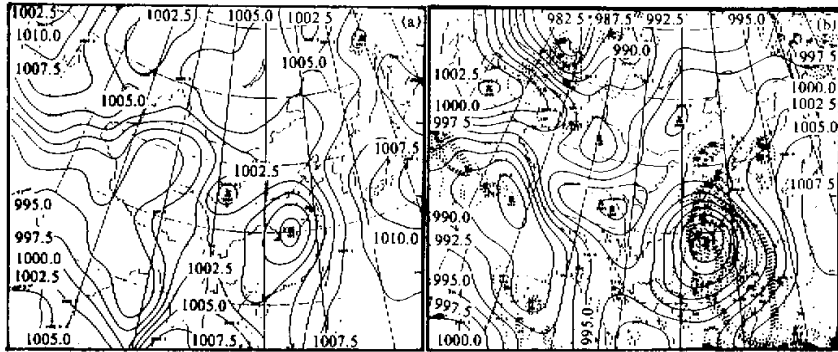


图 5 1994 年 5 月 13 日 08 时至 14 日 08 时累积降水量 (mm)
(a) 实况; (b) 预报 (最外圈零线, 间隔 5 mm)

5.2.3 1994 年 7 月 11 日第 6 号台风登陆造成我国内陆大暴雨过程

第 6 号台风于 7 月 9 日 08 时生成于 18°N , 127°E 菲律宾以东洋面上, 台风中心气压为 970 hPa, 其后向西北方向移动, 于 11 日 08 时在福建西南部登陆, 其中心气压为 985 hPa, 然后继续向西北方向移动, 填塞减弱, 变性为温带气旋, 于 12 日 08 时移到湖南、湖北、江西三省交界处, 其中心气压为 990.1 hPa, 沿途移动过程中, 造成我国内陆大部分地区的较大降水。这次台风直伸内陆, 是一次典型的影响我国内陆的热带天气过程, 本系统对这次台风登陆后的移动及造成的降水作了较成功的预报。图 6a、b 分别是 7 月 12 日客观分析地面图和相应的 24 小时数值预报图, 由图可见, 气旋中心报在湖南的长沙附近, 中心强度为 981 hPa, 中心值较实际偏低, 位置非常接近实况; 图 7 是 7 月 11 日 08 时~12 日 08 时 24 小时降水量实况图, 降水区基本上呈一条南北向的雨带, 在闽南福州到泉州沿海、长沙、汉口各出现了强度为 158.0 mm、51.4 mm、60.5



的地面报和高空报,对气象资料的使用较为单一,应综合利用各种气象资料,并实现资料的四维同化;模式中物理过程的考虑有待进一步改进和试验研究,参数化方案中某些参数通过预报实践还需作必要的调整,模式水平及垂直分辨率也需进一步提高。随着计算条件的改善,我们将对上述问题进行改进,使其逐步形成更具航空气象预报保障特色的中尺度数值预报业务系统。

参 考 文 献

- 1 Anthes, R.A., 1991, 宾州 NCAR 中尺度模式在天气、中尺度气象和气候研究中的应用近况,《气象科技》, 1, 40~47.
- 2 王鹏云等, 1992, 中尺度业务预报试验数值模式系统,《应用气象学报》, 3, No.3, 257~265.
- 3 中国科学院大气物理研究所六室, 1980, 细网格天气数值预报模式说明(单行本)。
- 4 华东中尺度天气试验论文集(第三集), 1986, 130~154, 总参气象局刊印。
- 5 Bergman, K. H., 1979, Multivariate analysis of temperatures and winds using optimum interpolation, *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1423~1444.
- 6 Bourke, W. and J. L. McGregor, 1983, A nonlinear vertical model initialization scheme for a limited area prediction model, *Mon. Wea. Rev.*, 111, 2285~2297.
- 7 Temperton, C., 1988, Implicit normal mode initialization, *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1013~1031.
- 8 朱抱真等, 1980, 一个用于数值预报模式的辐射加热的计算方案, 第二次全国数值天气预报会议文集, 45~55, 北京: 科学出版社。
- 9 潘晓滨等, 1994, 在细网格模式中引入总体边界层参数化方案的数值试验,《气象科学》, 14, No.2, 136~142.
- 10 Haltiner, G. J., 1971, *Numerical Weather Prediction*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- 11 Kuo, H. L., 1974, Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large scale flow, *J. Atmos. Sci.*, 31, 1232~1240.

An Introduction to a Limited-Area Operational Meso- α Scale Numerical Forecasting System and Its Experiment

Pan Xiaobin, Xiao Qingnong, Wei Shaoyuan, Huang Yahui

(Meteorological Institute of Air Force, Nanjing 211101)

Ma Huaping, Guo Weidong, Cui Chunshan, Mao Weiping and Li Zhenjun

(Meteorological Center of Air Force, Beijing 100843)

Abstract In this paper a limited-area operational numerical forecasting system is developed and the technical scheme of its every module is introduced. Statistical analyses of the numerical results and experimental studies on three synoptic cases in January to October 1994 are also presented. It is indicated from the operational run that the system is stable and reliable. It has powerful capabilities for predicting weather prognostics, precipitation, and especially heavy rain. It can therefore produce a good service in aviation meteorology. In addition, this operational system can work well with the computers of most meteorological stations, and therefore it is of great value for popularization.

Key words meso- α scale numerical prediction operational system forecast experiment