

中尺度业务预报试验数值模式系统

王鹏云 潘在桃

(中国气象科学研究院,北京,100081)

徐宝新 任荣彩

(河北省气象台,石家庄,050021)

提 要

以引进的美国 Penn State/NCAR 中尺度模式(MM2 和 MM4)为基础,按照实时业务预报需要和我国资料特点,在 PC/386 微机上研制了中尺度业务预报试验数值模式系统。在 1989 - 1990 年进行的实时业务预报试验中,该系统运行稳定,预报时效能满足实时业务预报要求,预报结果对 12—24 小时短期天气预报具有参考价值,适合于省(市)级气象台站等业务单位使用。

一、引 言

1986—1987 年,我们用引进的美国 Penn State/NCAR 中尺度数值模式(MM2 和 MM4)进行个例试算和模式性能试验。结果表明,该模式对我国中- α 尺度天气系统具有相当好的模拟和预报能力^[1-6]。京津冀中尺度试验基地和一些省(市)气象台站和专业单位(如人工影响天气、环境保护等)需要一个适合现有资料和计算机条件的中尺度数值模式系统进行业务或准业务的中尺度天气数值预报。为此,我们以 MM2 和 MM4 为基础,在气科院 DPS-7 机上初步建立了一套可供实时业务预报试验运行的中尺度模式系统(简称 MOMS),并于 1989 年夏季京津冀基地预报试验中进行了为期一个月的实时预报试验。

为了与京津冀基地计算机网络联接,获取实时观测资料并在图形工作站以图形显示,

表 1 MOMS 的 PC/386 微机运行方案

方案	水平格点数	格距(km)	垂直分层数	预报时效(运行时间:预报时间)	
				微机内存:1MB 微机主频:20MHz	微机内存:2MB 以上 微机主频:20MHz
10 层模式	31×31	90	10	1:2	1:6
7 层模式	25×31	100	7	1:4	1:12

还考虑到目前多数省(市)级台站只有小型机或微机的计算条件,我们又将这套系统移植

到 PC/386 微机上,并对具有内存 1MB 和 2MB 以上的 PC/386 机分别设计了四种运行方案(表 1)。试用结果表明模式系统运行稳定,预报结果令人满意,对 12—24 小时短期天气预报具有参考价值。

二、模式系统概况

图 1 为模式系统框图。初始资料为常规地面和探空资料及地形资料。每天 11 时和 23 时(北京时,下同)可取得 08 时和 20 时的探测资料作为初始资料。本系统对初始资料的检误包括:极值检查、垂直静力平衡检查和水平内插检查等。经试验,选取适当的检误标准,可取得十分满意的检误效果,从而保证了模式的稳定运行。

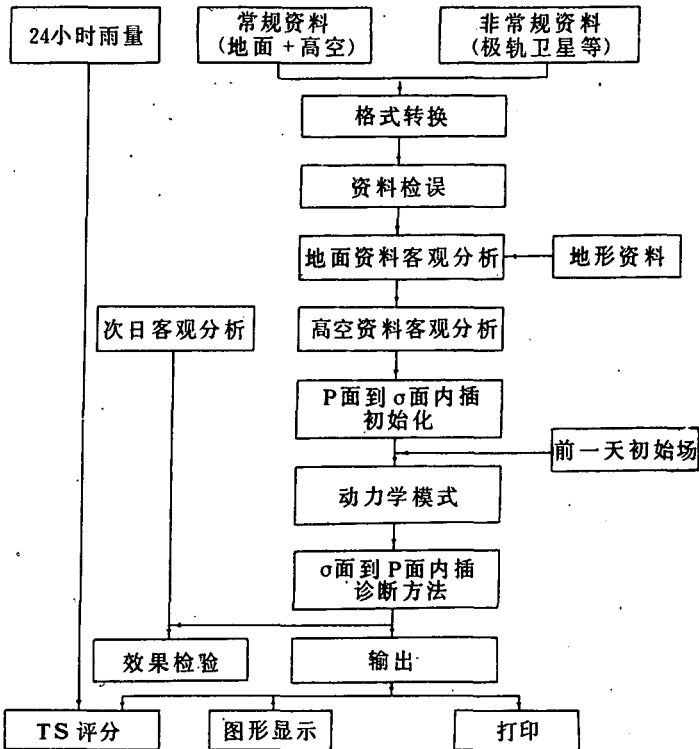


图 1 MOMS 的运行框图

客观分析采用 Cressman 逐步订正法^[7],并引入了 Benjamin 的椭圆权重方案^[8],然后将等压面上的资料内插到等 σ 面上,并进行整层无辐散处理。

动力学预报部分是以引进的 MM2 和 MM4 为基础经改进而成。这是一个三维、静力平衡、湿原始方程模式。模式中对物理过程的处理包括:Kuo-Anthes 积云对流参数化方案、总体边界层方案、次网格尺度水平扩散过程和地形影响^[9,10]。

在积云对流参数化方案中,对流凝结潜热和湍流感热通量垂直分配系数 N_c 、水汽湍流通量垂直分配系数 N_r 由经验关系确定。我国华北地区夏季暴雨主要由深对流引起,诊

表 2 模式分层和 $N_h(\sigma)$ 、 $N_f(\sigma)$ 的取值

10 层模式				7 层模式			
k	σ	N_h	N_f	k	σ	N_h	N_f
1	0.0	0.40	0.0	1	0.0	0.40	0.0
2	0.1	1.20	8.75×10^{-4}	2	0.14	1.48	8.2×10^{-4}
3	0.2	1.78	6.33×10^{-4}	3	0.29	1.96	3.2×10^{-4}
4	0.3	1.95	2.62×10^{-4}	4	0.43	1.64	-3.2×10^{-4}
5	0.4	1.73	-2.16×10^{-4}	5	0.57	1.12	-8.2×10^{-4}
6	0.5	1.40	-5.87×10^{-4}	6	0.71	0.44	0.0
7	0.6	1.00	-9.67×10^{-4}	7	0.86	0.05	0.0
8	0.7	0.48	0.0	8	1.0		
9	0.8	0.10	0.0				
10	0.9	0.0	0.0				
11	1.0						

断研究和对积云的数值模拟表明^[11],深对流的凝结加热垂直廓线呈抛物线型,最大值在云层上部。经实例试验,我们选择了适用于 10 层和 7 层模式的对强降水预报效果较好的两组参数值(表 2)。

侧边条件用时变边界,倾向值用前 24 小时(或 12 小时)观测值线性内插的变化值作为预报时段倾向值。地形资料用经、纬度各 1° 的实测地形资料经客观分析到水平格点上。图 2 为在京津冀基地所用 7 层模式预报范围内地形高度。

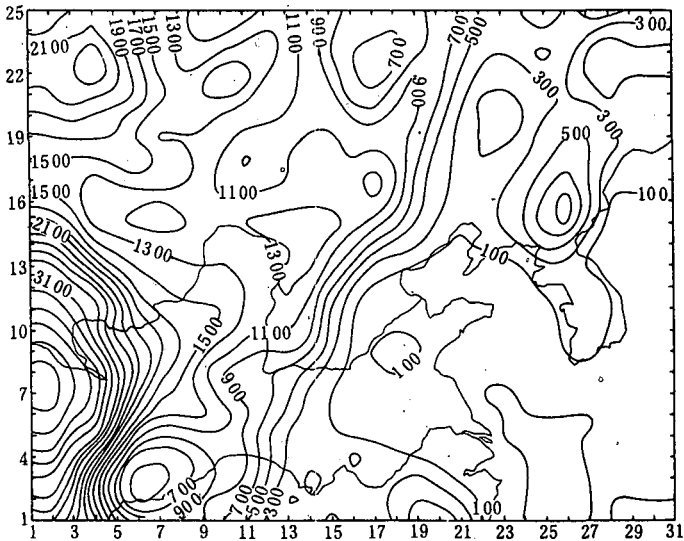


图 2 7 层模式预报范围及地形高度分布

动力学模式预报量须由 σ 面内插到规定等压面上并进行诊断分析。输出结果包括地

面气压、降水(总降水量和时段降水量)、规定等压面上的位势高度、温度、湿度、流场、涡度、散度、垂直速度等。其中标量以加配地图背景的等值线图形显示,流场由风矢量和流线形式显示。所配图形软件具有放大、缩小、迭加、配色等功能。

预报效果的检查,包括对形势场的统计检验和降水预报的 TS 评分。

三、1989—1990年京津冀基地试验

1. 试验概况

1989年7月16日—8月15日在京津冀基地首次进行实时预报试验。采用表1中的10层模式系统,格距90km,水平范围 $2700 \times 2700 \text{ km}^2$,在气科院DPS-7机上运行。初始资料由国家气象中心实时资料库读取记带,其范围为 $22^\circ\text{--}53^\circ\text{N}$, $92^\circ\text{--}140^\circ\text{E}$,含地面站约600个,探空及测风站约170个,在11时取得08时资料作24小时预报。

1990年6月15日—6月30日、7月20日—8月10日,在京津冀基地夏季试验和9月10日—10月8日亚运会期间的气象保障服务中,用一台386/20e微机运行了MOMS的7层模式,为短期天气预报提供12—24小时数值预报。微机与基地计算机网络联接,从图形工作站接收的资料调用初始场资料,预报结果再传回工作站以图形显示,并与卫星云图比较检查预报结果。整个系统由计算机时钟控制启动,从资料调入到结果传出全过程自动运行。每天以08时和20时为初始时刻作两次24小时预报,预报结果每3小时输出一次。预报范围为以 115°E 、 39.3°N 为中心的 $2400 \times 3000 \text{ km}^2$ (图2),格距100km,初始资料为此范围内86个探空站的规定等压面资料和地面资料。在这三段时间的试验运行中,系统运行稳定,除了由于资料问题没有运行的特殊情况外,绝大部分都按时提供了预报。

2. 统计检验结果

表3给出1989年试验期间25次预报与实测高度场的相关系数(r)和均方差(RMS)以及降水预报的 TS 评分。由于降水量是众多复杂过程的综合结果,且含有更小尺度的变化,因而对降水预报不如对形势场预报得好。形势场12小时预报优于24小时预报,高层(500hPa)优于低层(850hPa)。

表3 1989年夏季MOMS 10层模式预报效果检验

预报时段 (小时)	高度场 (hPa)						24小时降水量(mm)			
	r			RMS (m)			TS 评分		降水中心	
	850	700	500	850	700	500	>10	>25	预报量 降水量	预报与 实况距离(km)
12	0.80	0.88	0.92	25.0	23.0	32.0				
24	0.75	0.83	0.90	34.0	35.0	40.0	0.23	0.11	0.37	212

表4为1990年试验期间MOMS7层模式预报的高度场和降水量的检验结果。预报效果的总趋势与1989年相似,即形势场报得比降水好,高层比低层好。高度预报场与分析场比较,均方差也与1989年接近,但相关系数较低。

表 4 1990 年 MOMS 7 层模式预报效果检验

试报时间	预报时段 (小时)	高度场						24 小时降水量(mm)			
		r			RMS (m)			TS 评分		降水中心	
		850	700	500	850	700	500	>10	>25	预报量 降水量	预报与实况 距离(km)
6 月 15 日—6 月 30 日 (27 次)	12	0.44	0.68	0.84	32.0	31.9	42.5				
	24	0.40	0.62	0.80	37.1	41.2	48.6	0.19	0.11	0.44	240
7 月 22 日—8 月 9 日 (32 次)	12	33.7	0.48	0.71	0.81	25.7	25.4				
	24	43.1	0.43	0.65	0.76	31.2	32.0				
9 月 10 日—10 月 7 日 (47 次)	12	0.60	0.78	0.85	27.1	26.7	37.5				
	24	0.52	0.74	0.82	33.0	33.3	46.7				
平均	12	0.51	0.72	0.83	28.3	28.0	37.9				
	24	0.45	0.67	0.79	33.8	35.5	46.1				

表 5 用于比较 10 层和 7 层模式系统的 12 次天气过程

时 间	降雨范围及强度	天气形势及影响系统
6 月 27 日—28 日	大范围中—大雨	西风槽前
7 月 1 日—2 日	局地暴雨	西北涡
7 月 6 日—7 日	大范围暴雨	黄河气旋
7 月 13 日—14 日	局地暴雨	槽底中尺度云团
7 月 28 日—29 日	局地暴雨	副高外围与西风带小槽
7 月 29 日—30 日	局地暴雨	西风槽前弱扰动
7 月 31 日—8 月 1 日	局地暴雨	副高后部及西风槽前
8 月 1 日—2 日	局地暴雨	副高后部、西风槽
8 月 2 日—3 日	大范围暴雨	副高后部、西风槽、南支槽
8 月 3 日—4 日	大范围暴雨	副高后部、西风槽、南支槽
8 月 11 日—12 日	局地风暴(飑线)	西风带小槽
8 月 12 日—13 日	局地暴雨	西风带小槽与副高后部

两年试验结果之差异可能由两方面因素造成:一是所用初始资料不同,1990 年仅用预报范围内的探空站,而 1989 年除探空站外还有测风站及地面站,因而资料更细;二是模式繁简和水平格点数不同,因而侧边界影响不同,1990 年用 7 层模式,水平格点数为 25×31 ,而 1989 年用 10 层模式,水平格点数为 31×31 。

为比较模式简化和侧边界影响,对 1990 年 6—8 月份 12 次降水过程(表 5)用 10 层模式重新作了计算。这 12 次过程包括了不同的天气形势和影响系统,有局地暴雨和大范围暴雨过程,比较结果列于表 6。可见,用同样的初始资料对同样的 12 次过程预报,10 层模式预报比 7 层模式效果更好,相关系数平均提高约 22%,低层(850hPa)预报则提高 30% 以上;对均方差,10 层模式预报比 7 层模式平均降低约 10%。

1990 年 6—8 月内蒙古自治区气象台用 7 层模式作预报试验,初始资料测站比京津冀基地的密,除探空站外还有测风站和地面站资料,因而可用于比较初始资料场对预报的影响(表 7)。由表 7 可见,用了加密初始资料的预报,相关系数平均提高约 8%,但均方差亦增大约 8%。当然,两地试验的时段不完全相同,这一比较只能作为参考。由此可见,模式的垂直分层和侧边界影响(由水平格点数所反映)比初始资料更为重要。因而在机器条件允许时(如采用主频较高的 386 微机),用 10 层模式可能得到更为满意的预报结果。

表6 用不同模式运行系统对各层等压面(hPa)12次天气过程预报比较

模式系统	相关系数						均方根差(m)					
	12小时预报			24小时预报			12小时预报			24小时预报		
	850	700	500	850	700	500	850	700	500	850	700	500
7层模式	0.41	0.66	0.78	0.46	0.68	0.72	25.1	24.2	33.0	29.1	30.6	43.8
10层模式	0.69	0.84	0.91	0.72	0.80	0.85	21.7	21.0	26.4	27.9	31.1	38.7
EXP6				0.88		0.90				22.5	23.5	29.5
EXP8				0.86		0.87				23.2	23.8	30.7

表7 不同初始资料密度对预报结果影响比较(7层模式,24小时预报)

试验地区	相关系数			均方差(m)		
	850hPa	700hPa	500hPa	850hPa	700hPa	500hPa
天津露基地	0.45	0.67	0.79	33.8	35.5	46.1
内蒙古区气象台(加密)	0.51	0.70	0.86	38.3	39.8	46.3

表6中还列出 Anthes^[12]作的12次天气个例预报的效果检验。其中EXP6为用模式性能更为完善的MM4所作的预报,垂直分10层,水平格点数为 46×61 ,格距80km,侧边条件用NCAR的CCM模式预报提供;EXP8为用CCM模式预报内插到与EXP6相同的格点上。我们用10层模式所作的12次预报,相关系数比EXP6低约12%,比EXP8低约5%;均方差比EXP6高约22%,比EXP8高约20%。对降水的预报,与之相比,我们的10层模式和7层模式均有差距。造成这一差距的原因,除Anthes所用模式性能较为完善(在大型计算机上运行)外,还由于其侧边界值由大尺度模式预报提供,且水平范围较大,因而侧边界对内部影响相对较小。Anthes专门设计了对侧边界影响的模拟试验,证明其对有限区域模式预报的影响是第一位重要因素。此外,在Anthes的预报试验中,初值场也比较细,是用NMC分析场内插再加实际探空资料订正。

在1990年第二段试验中,还将极轨卫星、UFH雷达和自动地面站资料加入初始场作了一些试验,对6次极轨卫星资料加与不加作了对比试验。试验表明,加入卫星资料可以使12小时高度场预报相关系数提高,改善对500hPa高度场的预报效果。

3. 预报实例

试验期间,经与卫星云图比较,多数情况预报的风场和降水范围与云图上的云系位置配合得很好,下面给出三次天气过程的预报实例。

(1)图3为对1990年7月23日由西风槽引起的黄海北部、辽东半岛—黄淮地区的降水预报(图3a)和850hPa流场预报(图3b)。与云图实况对比分析,在7月23日13时30分云图上(图略),主要降水云区集中在黄海北部,最低云顶温度 -63°C ;19时30分沿黄河下游发展成一条降水云带,云顶温度 -54°C 。MOMS预报的12小时(20时)850hPa流场在黄海北部呈现辐合区,12小时累积降水与云图上降水云区完全一致,中心降水量预报为38mm。

(2)图4为对1990年8月3日由蒙古冷涡及由冷涡南伸的冷锋和长江下游台风低压

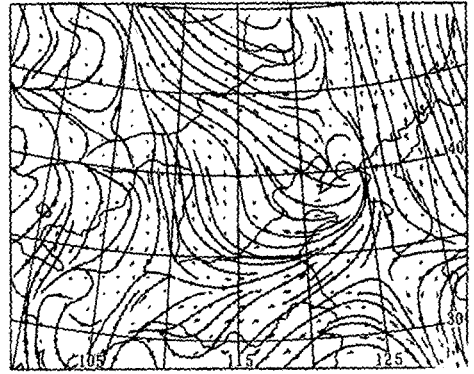
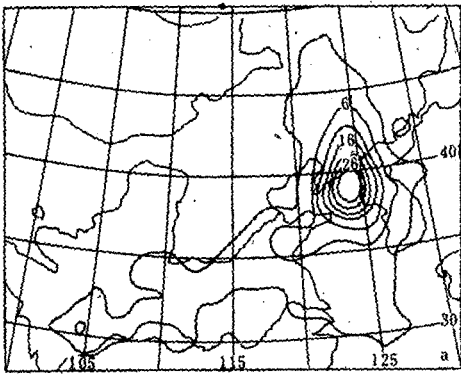


图3 1990年7月23日12小时降水预报(a)和850hPa 流场预报(b)

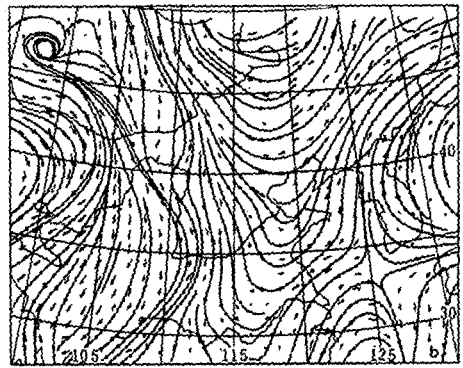
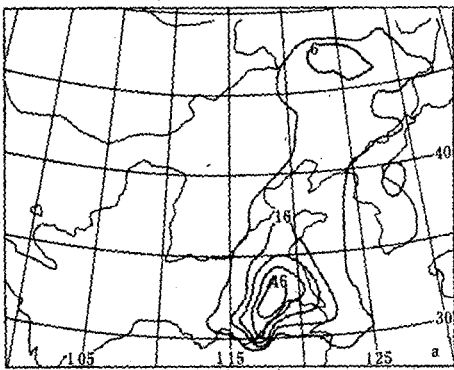


图4 1990年8月2日24小时降水预报(a)和500hPa 流场预报(b)

相连造成的以江淮地区为中心、沿黄海海岸向北伸展到东北地区的降水过程的预报。与云图实况对比分析,在8月2日22时30分云图上(图略),淮河下游的降水云区云顶温度为 -67°C 。在8月3日10时30分云图上,降水云区变化不大,但云顶高度降低了,云顶温度

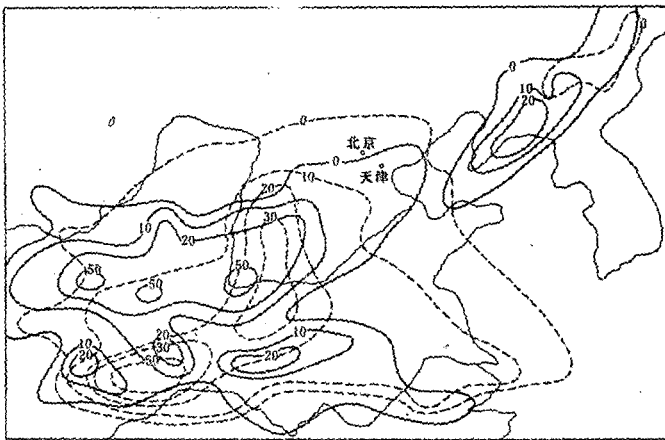


图5 1990年9月21日36小时降水预报(21日08时—22日20时)(虚线为预报,实线为实况,单

升高到 -35°C ,因此总体呈减弱趋势。降水预报的前12小时中心降水量45mm,24小时总降水量55mm(图4a),即后12小时降水仅10mm,故主要降水发生在8月2日20时—8月3日08时,预报的降水落区和趋势与卫星云图上降水云系的演变是一致的。比较8月3日19时30分云图(图略)和24小时流场预报(图4b)可以看出,蒙古冷涡与台风低压相联接,成为一个自海拉尔至江淮下游的低槽,降水云带则处于低槽前气流辐合区。

(3)9月22日亚运会开幕式天气预报。我们用9月21日08时资料为初始场作了36小时预报。预报雨区自陕西、山西到河北中部和南部,呈东西走向,北京处于雨区北侧边缘(图5中虚线)。在21日08时天气图上还未见明显天气系统发展,云图上也只在黄河中游有少量低云。但从9月21日下午至22日晨,一条走向与位置基本与预报一致的雨带突然发展,这条雨带一直维持到22日晚才向东南方向移去(图略)。图5中给出的36小时降水实况(实线)与预报降水大体是一致的。

四、结 语

在PC/386微机上建立的三维原始方程中尺度业务预报试验数值模式系统可以实时地提供12—24小时天气形势场和降水预报。经1989—1990年试验,系统运行稳定,预报结果良好,可以在省(市)级气象台站和其它业务单位使用。需要进一步改进和完善的部分为:(1)改进侧边条件的处理。用前24小时或12小时时段内边界倾向值外推作为预报时段倾向值,对发展变化快的天气系统是不适用的,因而影响预报效果。如机器条件允许,可适当扩大预报范围以尽量减小侧边界对中心区域的影响。将考虑用大尺度模式(如北京气象中心的T42)预报输出为之提供时变的侧边界值。(2)改进对初始资料场的处理。目前仅用到常规资料,由于站网较粗,故对中尺度信息反映不够。虽然在动力学模式中对物理过程处理得好,在许多情况下仍可激发出中尺度过程^[13],但对24小时以内的预报来说,初始场中的中尺度信息仍然是十分重要的,因而考虑加入经四维同化处理的卫星和其它非常规资料。在分析方法上准备采用最优插值法或其它更好的方法作客观分析,用正规模式作初值化处理。(3)为满足人工影响天气、环境保护等部门对云物理过程和云中水的相态变化的预报需要,将引入包含云水、雨水、冰晶等预报方程的显式方案作为对水分循环处理的另一个可选择通道。

参 考 文 献

- [1] 潘在桃、王鹏云,1986年6月26—27日京津冀大暴雨的数值试验研究,应用气象学报,1,242—252,1990。
- [2] Wang Pengyun, Comparison between cumulus parameterization and explicit scheme in mesoscale numerical modeling, Proceedings of Fifth WMO Scientific Conference on Weather Modification and Applied Cloud Physics, Beijing, China, 8—12, May 1989, 225—228, 1989.
- [3] Wang Pengyun, Xu Zixiu and Pan Zaitao, A case study of warm sector rainbands in North China, *Adv. Atmos. Sci.*, 7, 354—365, 1990.
- [4] 朱翠娟等,“87.8”济南地区特大暴雨的中尺度数值试验,科学通报,20,1561—1564,1989。
- [5] Pan Zaitao, Wang Pengyun and Wang Zuoshu, Mesoscale numerical forecast and heavy rainfall simulation in North China Proceedings in the Second Joint US-PRC Workshop on Mesoscale Meteorology, Boulder, USA, 24—26, 1990.
- [6] 朱翠娟、张金善、李兴生,华北地区一次中- α 尺度强涡旋发展的数值模拟,应用气象学报,2,156—163,1991。

- [7] Cressman, G. P., A operative objective analysis scheme, *Mon. Wea. Rev.*, **8**, 367—374, 1959.
- [8] Benjamin, S. G. and N. L. Seaman, A simple scheme for objective analysis in curved flow, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1184—1198, 1985.
- [9] Anthes, R. A. and T. T. Warner, Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1045—1078, 1978.
- [10] Anthes, R. A., Y. H. Kou, and E. Y. Hsie, Description of the Penn. State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4), NCAR Technical Note, NCAR/TN-282-STR, 66 pp, 1987.
- [11] Kuo, Y. H. and R. A. Anthes, Semiprognostic tests of Kuo-type cumulus parameterization scheme in an extratropical convective system, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1498—1509, 1984.
- [12] Anthes, R. A. et al., Estimation of skill and uncertainty in regional numerical models, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **115**, 763—806, 1989.
- [13] 李毓芳、R. A. 安塞斯, 次天气尺度和中尺度预报中的初值问题, *气象学报*, **42**, 499—504, 1984.

MESOSCALE OPERATIONAL FORECAST EXPERIMENTAL MODEL SYSTEM

Wang Pengyun Pan Zaitao

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

Xu Baoxin Ren Rongcai

(Meteorological Observatory, Hebei Province, Shijiazhuang, 050021)

Abstract

A 3-D mesoscale operational numerical model system (MOMS) is developed on a microcomputer PC-386 according to the requirements of real-time operational forecast and data availability. The system including data input, objective analysis, forecast processing and results output is run automatically. It can provide prognosis and precipitation forecast at any given interval within 24-hour period. The results are displayed on terminal with color graphics. The system was in operation in the summer experiments of Beijing-Tianjin-Hebei mesoscale experimental base during 1989 to 1990, and provided numerical forecast product services during the period of 11th Asian Games. The experimental operational forecast with this system was also carried out in weather forecast stations of Inner Mongolia Autonomous Region and Hebei Province in 1990. The results show that the model system operates steadily and can meet, with regard to timeliness, the requirements of real-time operational forecast. The forecasts provided by the system contribute positively to making 12—24 hours short range forecast.