

MM5 在上海区域气象中心数值预报中的改进和应用*

顾建峰 殷鹤宝 徐一鸣 蒋贤安 梁旭东

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

提 要

以国家气象中心数值预报产品为依托, 根据上海区域气象中心计算机资源配置情况, 用 NCAR-PSU/MM5V2 作为动力框架, 确定了侧边界嵌套方案、积云参数化方案和边界层参数化方案, 研制了资料分析同化方法和预报结果后处理方法及产品显示软件, 建立了上海区域气象中心第五代数值预报业务系统, 可提供华东地区 138 个城市每 3h 一次的地面要素预报。半年多准业务运行表明, 预报效果较好, 对区域内气象台站的业务预报有良好的参考价值。

关键词: 数值预报 业务系统 资料分析同化

引 言

上海区域气象中心目前运行的第四代数值预报业务系统(简称 SLAM4)^[1], 其模式是移植 MM4 加以改进建立起来的, 水平分辨率为 75 km, 垂直 10 层, 水平格点数为 71×69, 侧边界和客观分析初估场应用国家气象中心全球谱模式(T63)预报产品, 采用二维最优插值法进行客观分析, 没有资料同化处理, 产品主要有 24h、48h 预报的高度、温度和风场, 以及华东地区 46 个主要城市每隔 6 h 一次的地面要素(降水、气温、风向、风速、海平面气压、相对湿度和天空状况等)预报。根据中国气象局对区域中心业务数值预报的发展规划, 在计算机资源尚有一定潜力的情况下, 尽可能把目前(第四代)业务系统再提高一步, 包括提高模式分辨率, 增加预报产品, 提高预报准确性, 更好地发挥区域气象中心在天气预报业务系统中的指导作用。

通过 Internet 网获得中尺度模式 MM5V2^[2], 作为动力框架, 建立了上海区域气象中心第五代数值业务系统(简称 SLAM5)。该系统包括资料读取和资料准备、客观分析、间歇资料同化、初值处理、预报模式、预报结果后处理、产品显示、自动化运控 8 个模块。1997 年 12 月整个系统开始在由局域网支持下的 VAX3400、AXP3600、ALPHA2100 和 586 微机上自动运行。

1 系统主要模块简介

1.1 资料读取和资料准备

* 邓兴秀、王晨稀等同志参加了部分工作。

1998-07-31 收到, 1999-08-18 收到再改稿。

在 VAX3400 和 AXP3600 上从实时资料库读取探空、地面、测风、船舶报等常规资料, 以及卫星测厚、卫星测风报等非常规资料. 将以上资料和上海地区非发报站资料等各类报文按客观分析要求整理排列并作初步质量控制. 同时读取国家气象中心全球谱模式(T106)预报产品, 经插值转换到本系统网格点上, 作客观分析初估场和供模式侧边界嵌套使用.

1.2 客观分析

采用三维最优插值方法进行资料分析, 分析要素为 11 层标准等压面(1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150 和 100 hPa) 上高度、温度、 u 、 v 和 300hPa 以下 7 层的相对湿度, 分析所用资料除了高空报、地面报、船舶报、测风报外, 还包括卫星测厚、卫星测风和上海地区非发报站等非常规资料. 分析中对观测资料进行了水平和垂直检误, 并注意最大限度利用观测质量较高的常规观测资料.

1.3 间歇资料同化和初值处理

在预报起始时刻(00: 00 UTC, 下同)前 24h, 即从前一天的 00: 00 开始, 利用同化时刻前后 3h 的资料作为同化时刻资料, 每隔 6h 作一次同化处理. 同化所用资料包括每天 4 个时次(18: 00、00: 00、06: 00、12: 00)的地面报、船舶报、陆地测风报, 及上海地区 8 个非发报站的地面资料, 和 2 个时次(00: 00、12: 00)的陆地探空报, 非常规资料包括卫星测厚和卫星测风报. 考虑到 18: 00 及 06: 00 没有探空资料, 在这两个时次, 将同化模式的预报结果按照探空资料的格式插值到预报区域内的所有常规测站位置上, 作为该时次的人工探空资料, 供客观分析使用. 以 T106 预报产品作为前一天 00: 00 的初估场, 进行客观分析得到初始场, 模式积分 6h 后的结果作为下一次同化时刻的初估场. 这样同化处理 24h 后(即到当天 00: 00)的结果作为当天 00: 00 客观分析的初估场, 进行客观分析, 得到 11 层标准等压面上要素场, 经空间插值转换到模式网格系统中形成模式初值. 采用非线性正规化方法进行初值化处理. 侧边界资料用前一天 12: 00 起报的间隔为 12h 一次的 T106 预报资料作空间和时间内插, 得到 0~12h、12~24h、24~36h、36~48h 模式侧边界上的预报变量和时间倾向值.

1.4 预报模式

在移植 MM5V2 的过程中改编了某些内部函数和相应的程序, 使之可在 ALPHA2100 上运转. 应用静力平衡方案, 采用标准经度为 125°E 的 Lambert 地图投影. 水平分辨率取 37.5 km, 中心点在(30.2°N, 118.6°E), 格点数为 95×95. 侧边界与国家气象中心全球谱模式(T106)相嵌套. 垂直坐标为 σ 坐标, 不等距分为 15 层, 模式顶取 100hPa. 模式积分时间步长取 120s. 地形资料取自全球 1/6°×1/6° 经纬度网格点资料. MM5 包含了较完整的物理过程, 其处理方案和参数是可选的, 对不同的处理方案和参数进行了对比试验, 根据预报效果和计算机条件, 确定了适用于华东地区的有关物理过程.

模式侧边界与 T106 相嵌套采用时变流入/流出方案^[3]. 对流参数化方案冬半年采用 Betts-Miller 方案, 夏半年采用 Anthes-Kuo 方案^[4]. 行星边界层参数化采用高分辨率(Blackadar)行星边界层模式, 地面温度预报是根据强迫-恢复薄层模式, 由地面能量收支方程计算的, 在地面热量交换过程中考虑了向上和向下的净辐射通量. 其中地面物理过程参数化涉及到的下垫面特征及相应物理参数(诸如地面反照率、水汽有效率、比辐射率、粗

糙度和容积热容量等)在 MM5 中是根据美国的情况给出的,本系统参考中国气候地图集、中国物理气候图集和中华人民共和国国家农业地图集等有关资料,把预报区域划分为与实际下垫面特征较为符合的 13 类主要自然地理气候区域,并确定了相应的夏、冬地表物理参数值。

模式积分初始时刻是 00:00,每天制作 48h 预报,每隔 3h 输出一次预报结果。

1.5 预报结果后处理

后处理模块包括每隔 3h 的华东地区 138 个城市的地面要素预报和标准等压面上要素场和物理量场及地面降水场的处理。

用模式最低 2 个层次和地面气压,垂直插值得到地面要素场,再由双线性内插得到 138 个城市的单点地面要素预报值,包括降水、温度、风向、风速、海平面气压、相对湿度和天空状况等,天空状况是根据模式输出的高、中、低云量诊断为晴天、多云或阴天。

把模式每隔 3h 输出的 σ 面上的预报量转换到 11 层标准等压面上(100、150、200、250、300、400、500、700、850、925 和 1000hPa),预报量包括高度场、温度场、风场、湿度(混合比)场和地面降水场,再由这些预报量计算各标准等压面上的物理量场,包括涡度、散度、垂直速度、温度平流、涡度平流、 K 指数、水汽通量散度以及若干表征层结稳定度的参数。最后把以上所有模式格点上的预报场用双线性内插方法转换到 $17.5^{\circ}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$, $107.5^{\circ}\sim 132.5^{\circ}\text{E}$ 范围内,分辨率为 0.25° ,格点数为 101×101 的经纬度网格点上。

经后处理的预报结果传输到 VAX3400 计算机生成产品库,可供华东区域内台站预报员调用,同时传输到上海中心气象台预报值班室 586 微机显示平台上,供预报员调阅。

1.6 产品显示

该模块建立在上海中心气象台预报值班室 586 微机上,使用 C++ 语言编写成 WINDOWS 程序。该模块定时从 ALPHA2100 上读取预报结果,可以在预报模式运算的同时显示预报图像。图像显示部分是一多窗口的 WINDOWS 程序,可通过菜单根据所选要素的名称、层次和预报时间方便地调阅相应的图形,并可叠加和撤消。预报产品在显示平台上保留 3 天,目前有当天、前 1 天、前 2 天 850、700、500、300hPa 每隔 3h 一次的高度场、湿度场、温度场、涡度场、散度场、垂直速度场、风场、降水场及华东地区主要城市的地面要素预报。

1.7 自动化运控

系统流程如图 1 所示,从前一天 00:00 时开始作每隔 6h 一次的间歇资料同化处理。4 次同化处理均在后台定时启动,自动从 AXP3600 和 VAX3400 上读取资料并传输到 ALPHA2100 上。模式预报以当天 00:00 为起始时刻,在 ALPHA2100 计算机上制作 48h 预报,每 3h 输出一次预报结果,在中心台预报值班室微机平台上,使用 MICAPS 系统的 M timer 程序,定时在 ALPHA2100 上检索有无新的预报结果输出,如有则将其传输到微机上进行后处理,制作每 3h 一次等 p 面上的预报场图形和主要城市地面要素的预报图像,保留 3 天后自动更替。在预报结束后将预报产品传输到 VAX3400 生成产品库,供区域内台站调用。当天 00:00 的预报在 04:20 定时启动,07:30 左右全部结束,CPU 时间约需 190 min,可基本满足业务运行的要求。SLAM5 与 SLAM4 两个系统的不同之处见表 1。

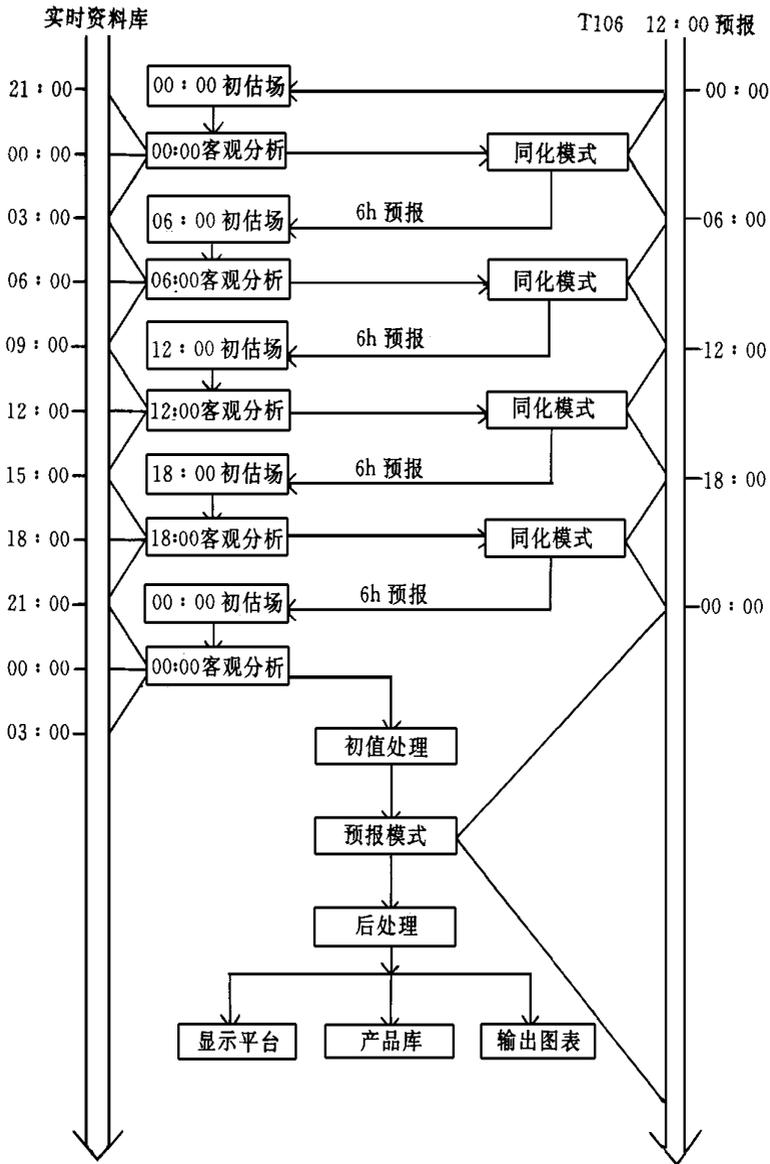


图1 上海区域气象中心第五代数值预报业务系统流程图

2 系统预报效果

系统(SLAM5)于1997年12月1日正式投入准业务试运行.下面主要就1998年上半年SLAM5预报结果与SLAM4作比较.预报效果检验主要针对单站地面要素预报情况进行,包括降水、气温、风速、风向、海平面气压和相对湿度.由于SLAM4预报的46个城市中只有27个是发天气报的国家基本站,为一致起见,SLAM5和SLAM4均选取这

表 1 SLAM5 与 SLAM4 不同之处比较

	SLAM4	SLAM5
客观分析	二维最优插值	三维最优插值
资料同化	无	间歇同化
模式框架	MM4V4	MM5V2
分辨率	水平: 75 km 垂直: 10 层	水平: 37.5 km 垂直: 15 层
格点数	71 × 69	95 × 95
时间差分	Brown-Campana	分裂格式(Madala)
深对流参数化	Anthes-Kuo	冬半年: Betts-Miller 夏半年: Anthes-Kuo
行星边界层参数化	Bulk-aerodynamic	Blackadar high-resolution
CPU 时间	40 min	190 min
预报产品	46 个城市 6h 一次地面要素	138 个城市 3h 一次地面要素
产品显示软件	NCAR 绘图软件	Windows95(VC)

27 个测站作为检验对象. 27 个测站的分布如图 2 所示.

降水预报的检验是针对日降水(00:00~00:00)预报, 采用时间序列上的 TS 评分方法检验每一个测站的月预报情况. 即对每一个测站有

$$TS = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c} \quad (1)$$

式中 N_a 是一个月中实况有雨预报正确的天数, N_b 和 N_c 分别是一个月中空报和漏报的天数. 若把 27 个测站视作一个整体考虑, 定义整体 TS 评分 (WTS)

$$WTS = \frac{\sum_{i=1}^n N_a}{\sum_{i=1}^n N_a + \sum_{i=1}^n N_b + \sum_{i=1}^n N_c} \quad (2)$$

式中 n 是所统计的测站数.

气温 (T)、风速 (WS)、风向 (WD)、海平面气压 (SLP) 和相对湿度 (RH) 等要素的检验在有实测资料的 18:00、00:00、06:00、12:00 4 个时次上进行, 逐日计算了每个时次上 2 次预报的误差, 27 个测站预报值与实况值的误差绝对值月平均值

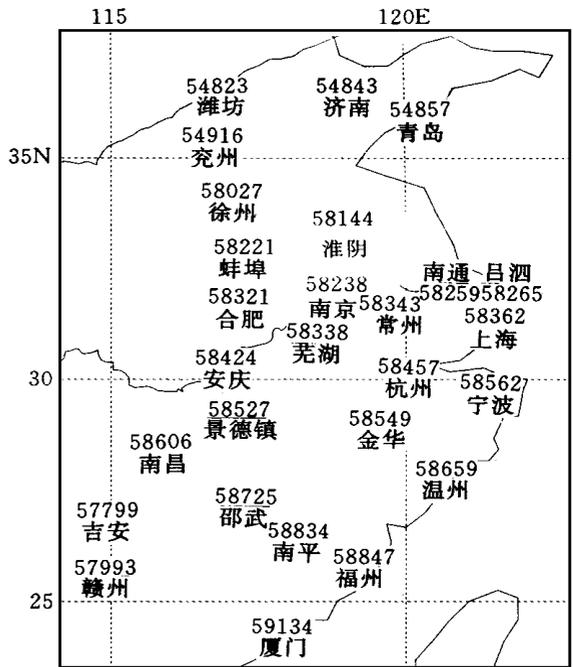


图 2 检验所用的华东地区 27 个测站分布

M_α 定义为

$$M_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |\alpha_f - \alpha_0|}{mn} \quad (3)$$

式中, α 代表任一要素, α_f 是预报值, α_0 是实况值, m 是当月天数. 4 个时次上 8 次预报的平均预报误差(AM_α)为

$$AM_\alpha = \frac{\sum_{i=1}^k M_\alpha}{k} \quad (4)$$

式中 k 是预报次数.

表 2 是 1998 年 1~8 月逐月降水的整体 TS 评分(WTS). SLAM5 的预报水平比 SLAM4 有一定程度的提高, 特别是中雨、大雨、暴雨和大暴雨的 TS 评分, SLAM5 明显高于 SLAM4.

表 2 SLAM5 与 SLAM4 1998 年 1~8 月降水 TS 评分(WTS)比较

降雨分级 (mm)	预报时间 (h)	模式	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	平均
0.1	24	SLAM4	0.693	0.686	0.694	0.665	0.705	0.733	0.532	0.516	0.653
		SLAM5	0.704	0.696	0.732	0.678	0.713	0.747	0.575	0.533	0.672
	48	SLAM4	0.543	0.598	0.604	0.605	0.620	0.629	0.541	0.501	0.580
		SLAM5	0.548	0.612	0.612	0.616	0.665	0.651	0.555	0.556	0.602
10.0	24	SLAM4	0.265	0.204	0.206	0.203	0.304	0.370	0.169	0.041	0.220
		SLAM5	0.400	0.364	0.250	0.298	0.354	0.414	0.189	0.089	0.294
	48	SLAM4	0.133	0.159	0.078	0.098	0.188	0.316	0.196	0.118	0.161
		SLAM5	0.175	0.198	0.191	0.130	0.191	0.319	0.267	0.186	0.207
25.0	24	SLAM4	0.000	0.160	0.128	0.074	0.161	0.273	0.071	0.017	0.111
		SLAM5	0.088	0.318	0.130	0.269	0.241	0.315	0.125	0.035	0.190
	48	SLAM4	0.038	0.036	0.069	0.015	0.082	0.200	0.132	0.097	0.084
		SLAM5	0.116	0.103	0.075	0.060	0.150	0.231	0.195	0.108	0.129
50.0	24	SLAM4	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.136	0.029	0.000	0.036
		SLAM5	0.000	0.333	0.000	0.115	0.083	0.208	0.028	0.000	0.095
	48	SLAM4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.078	0.018	0.039	0.017
		SLAM5	0.000	0.125	0.100	0.000	0.038	0.145	0.102	0.070	0.072
100.0	24	SLAM4	-99.0	-99.0	0.000	0.000	-99.0	0.083	0.000	0.000	0.017
		SLAM5	-99.0	-99.0	0.000	0.000	0.000	0.154	0.200	0.000	0.059
	48	SLAM4	-99.0	-99.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		SLAM5	-99.0	-99.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注: 表中 -99.0 表示实况没有出现, 预报也没有出现的情况.

表 3 是逐月各要素的平均预报误差(AM_α), SLAM5 的预报质量比 SLAM4 也有不同程度的改善.

表 3 SLAM5 与 SLAM4 平均预报误差 (AM_a) 比较

月份	模式	气温 ($^{\circ}\text{C}$)	风速 (m/s)	风向 (度)	海平面气压 (hPa)	相对湿度(%)
1 月	SLAM4	3.55	2.47	72.27	6.41	13.28
	SLAM5	3.33	2.18	65.60	5.60	12.64
2 月	SLAM4	3.20	2.47	70.88	5.62	11.73
	SLAM5	3.20	2.05	60.48	4.84	11.47
3 月	SLAM4	2.75	2.42	73.33	5.74	13.12
	SLAM5	2.56	1.95	68.41	5.17	11.30
4 月	SLAM4	3.08	2.42	79.57	6.13	11.15
	SLAM5	2.92	2.11	71.17	4.84	11.12
5 月	SLAM4	2.43	2.18	76.55	4.34	11.07
	SLAM5	2.36	1.90	69.14	4.03	10.85
6 月	SLAM4	1.97	2.82	76.52	5.13	11.84
	SLAM5	1.83	2.02	69.36	3.91	10.22
平均	SLAM4	2.83	2.46	74.85	5.56	12.03
	SLAM5	2.70	2.04	67.36	4.73	11.27

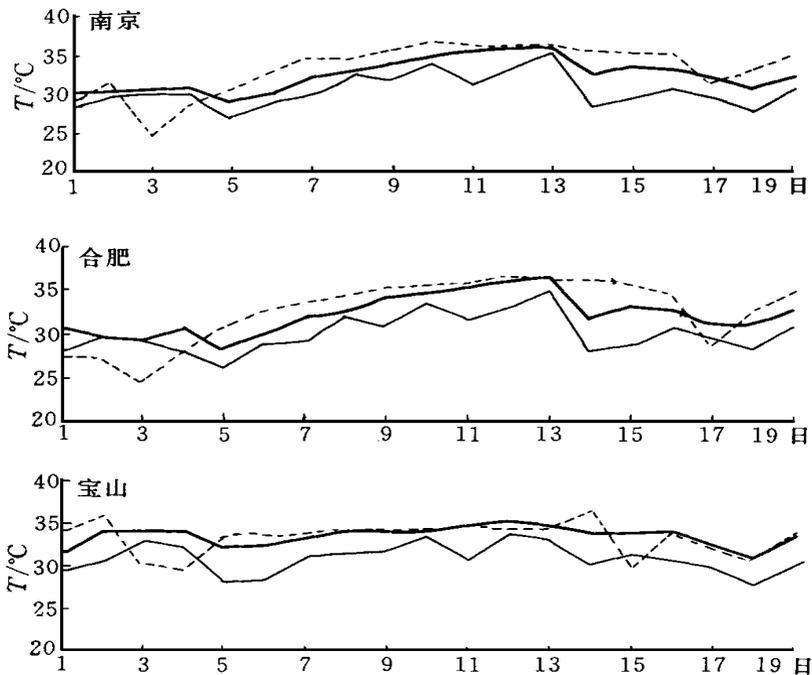


图 3 1998 年 7 月 1~19 日 3 个测站 06:00 温度实况和预报
(图中虚线表示实况, 细实线是 SLAM4 的预报, 粗实线是 SLAM5 的预报)

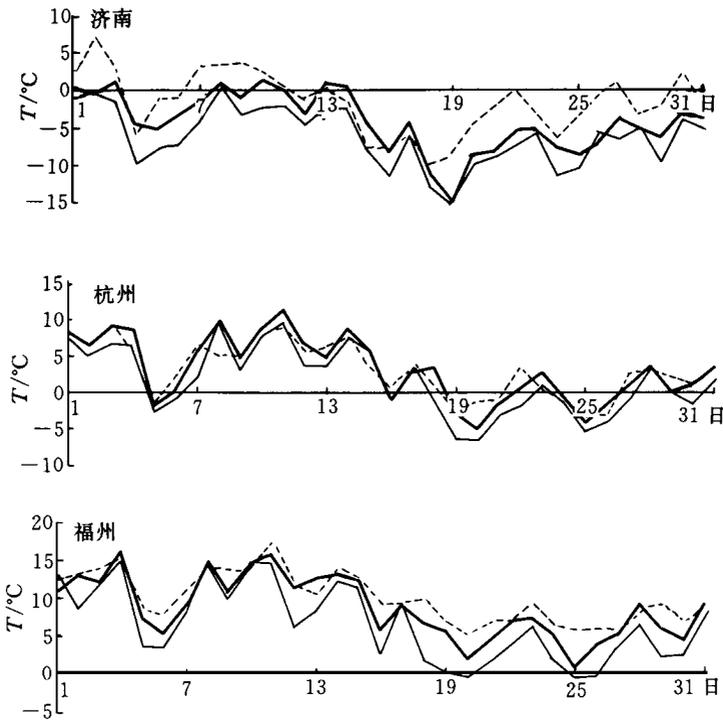


图4 1998年1月3个测站18:00温度实况和预报(说明同图3)

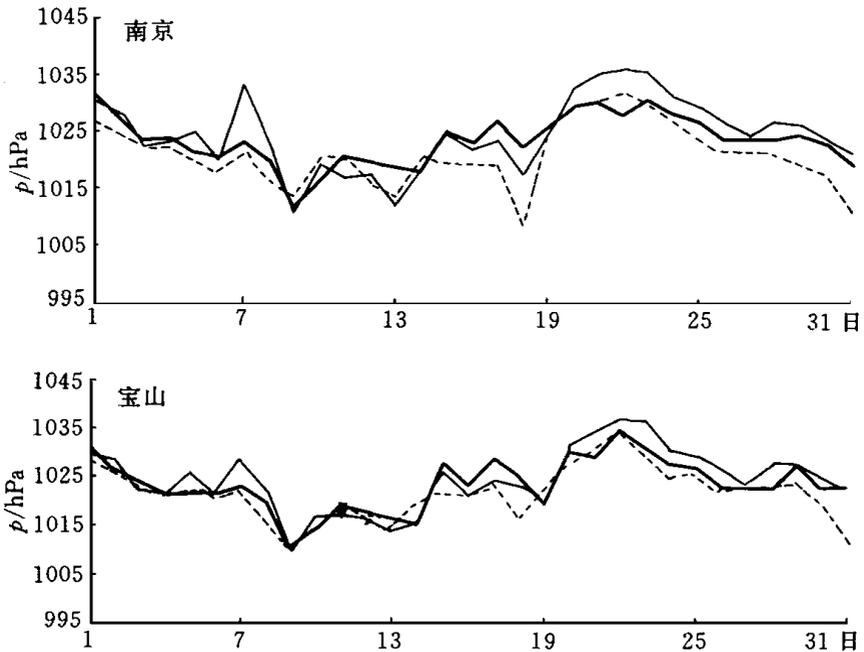
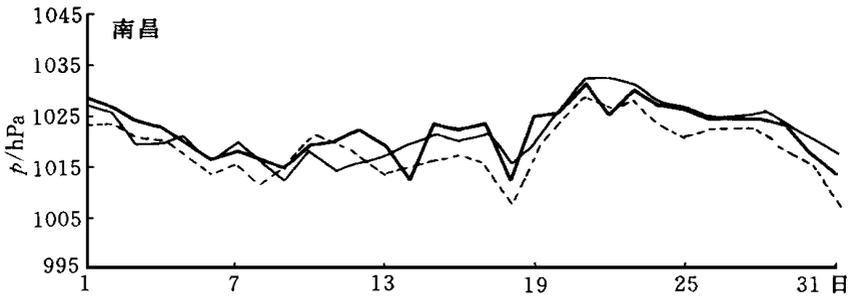


图5 1998年3月3个测站12:00海平面气压实况和预报(说明同图3)



(续图 5)

选取与日最高温度和最低温度出现时间较接近的预报时次 06: 00 和 18: 00, 分析了测站 2m 高度上 1998 年 7 月高温期间 06: 00 和 1998 年冬季(1 月)18: 00 的温度预报情况. 发现在高温期间 SLAM4 预报 06: 00 的温度较实况偏低, 而 SLAM5 的预报与实况吻合较好. 图 3 是选取实况高温日数出现较多的南京、合肥、上海(宝山)3 个测站 1998 年高温期间(7 月 1~ 19 日)06: 00 温度实况和预报的比较. 同样, 对于 18: 00 温度预报, SLAM5 的预报也比 SLAM4 的预报与实况更为一致. 图 4 是随机选取华东地区北部、中部和南部的济南、杭州、福州 3 个测站 1998 年冬季(1 月)18: 00 温度的实况和预报. 对于测站上海平面气压的预报, SLAM5 的预报也比 SLAM4 的预报与实况更为接近, 图 5 是随机选取华东地区中部的南京、上海(宝山)、南昌 3 个测站 1998 年冬春季过渡季节(3 月)12: 00 海平面气压的实况和预报.

综上所述, SLAM5 较 SLAM4 改进了客观分析方法(从二维改进为三维), 增加了间歌资料同化处理, 提高了模式水平和垂直分辨率, 采用了时间分裂差分格式和高分辨行星边界层参数化方法, 对预报结果有一定的改善, 特别是单站地面要素预报质量达到了较高的精度, 其 3h 一次的定时、定量、定点的客观预报对区域内气象台站的日常业务预报和气象服务将有良好的参考价值. 但本系统逐日运行仅半年多, 今后需要不断积累资料, 统计分析预报结果, 研制统计释用方法, 进一步提高预报水平, 特别是提高单站要素预报能力, 为华东地区气象台站提供品种适用的较好的数值预报产品.

参 考 文 献

- 1 殷鹤宝, 顾建峰, 雷小途. 上海区域气象中心业务数值预报新系统及其运行结果初步分析. 应用气象学报, 1997, 8(3): 358~ 367.
- 2 Georg A G, Jimy D and David R S. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note, June 1994.
- 3 顾建峰. 有限区域模式侧边界处理方案的比较试验. 气象, 1998, 24(5): 34~ 38.
- 4 顾建峰. 不同深对流参数化方案在降水预报中的比较试验. 气象, 1999, 25(4): 39~ 44.

THE IMPROVEMENT AND APPLICATION OF MM5 IN NUMERICAL PREDICTION OF SHANGHAI REGIONAL METEOROLOGICAL CENTER

Gu Jianfeng Yin Hebao Xu Yiming Jiang Xian'an Liang Xudong
(*Shanghai Research Institute of Meteorological Science, Shanghai 200030*)

Abstract

According to the computer resources available in Shanghai Regional Meteorological Center and numerical forecast products of National Meteorological Center, the schemes of lateral boundary nesting, cumulus parameterization and planetary boundary layer parameterization are selected. On the basis of the dynamical frame of NCAR-PSU/MM5 V2, the methods of data analysis and assimilation, post-processing and vision software of forecast products are studied. In addition, the fifth-generation operational numerical prediction system of Shanghai Regional Meteorological Center is set up and the surface element predictions per 3 h for 138 cities over East China can be provided. Through half an year quasi-operation, it is shown that the prediction performance is good, and it is valuable for the operational forecast of meteorological observatory.

Key words: Numerical prediction Operational system Data analysis and assimilation