

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*

殷鹤宝 顾建峰 雷小途

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

提 要

根据上海市气象局计算机资源配置情况,以NCAR-PSU/MM4为模式框架,国家气象中心数值预报产品为依托,建立了上海区域气象中心业务数值预报新系统,更新原五层模式套网格业务系统.根据有无进入区域的热带气旋而分别执行热带气旋模式或有限域模式.近一年的运行表明,计算稳定,有较好的预报效果,同时增加了预报产品,可提供华东地区25个主要城市每6小时一次的地面要素预报,供区域内省台调用.

关键词:数值预报 业务系统 区域中心

引 言

上海区域气象中心原业务数值预报系统建立在VAX-11/780计算机上,采用五层原始方程套网格模式,由于受计算机等条件的限制,该模式分辨率较低(水平分辨率为150 km),物理过程较简单,产品主要是形势预报,已不能适应区域中心业务数值预报的需求.1993年和1995年上海市气象科学研究所先后安装了CD 4680和Alpha2100小型机,计算条件有了很大改善.近年来,研制和建立了“东海区域台风数值模式”和“华东地区台风增强预报模式”,上海中心气象台亦以MM4为框架在VAX-3500工作站上建立了一个适于业务应用的数值模式.以这些工作为基础,确定以MM4为框架,吸收前述几个模式的长处,以国家气象中心数值预报产品(目前为T63 L16)为依托,开发一个具有较高分辨率的有限域业务数值预报模式,不仅可提供形势预报,而且增加了要素预报产品,供区域内省台调用.建成的业务系统,根据是否有东海台风而自动执行台风预报模式或有限域模式,当热带气旋(TC)进入预报区域(132°E以西,20°N以北)时,系统运行TC预报模式,否则运行有限域模式.两个模式均采用Lambert地图投影坐标,标准经度为125°E,垂直坐标为 σ 坐标(等距分为10层),模式顶为100 hPa,地形资料取自全球 $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ 的资料,经插值和5点平滑后(保持海岸线形状不变)得到.台风模式采用可移动套网格方案,粗网格格距为150 km(格点数为 35×35),时间步长为270 s,细

* 丁长根、徐一鸣、王晨稀、丁荣富、邓兴秀、陈明等同志也参加了部分工作。
1996-05-20收到,1996-10-28收到修改稿。

网格区随 TC 的移动而移动,格距为 50 km(格点数为 43×43),时间步长为 90 s. 有限域模式格距为 75 km(格点数为 69×71),时间步长为 120 s,侧边界与国家气象中心数值预报产品相嵌套.

基本方程,空间差分格式和时间差分方案与 MM4 相同^[1].

系统包括资料读取、资料处理、客观分析、构造和嵌入理想台风(仅在运行台风模式时使用)、初值化、模式积分、预报结果后处理和产品检验、自动运行控制等几个主要模块. 从 1995 年 12 月开始进行了准业务运行.

1 系统模块简介

1.1 资料读取和资料准备

在 VAX-3400 上从实时资料库中读取探空、地面、测风、船舶报等常规资料,以及台风报、卫星测风、卫星测厚及国家气象中心数值预报产品的格点报. 传输到 CD 4680 机上,将 T63 的 12 小时预报场(作 08 时预报)或 24 小时预报场(作 20 时预报)插值到本系统的网格点上,形成客观分析预备场,其它时次的资料插值到侧边界区域供嵌套使用. 将各类报文按客观分析要求,分类排列作预处理,并作初步质量控制.

1.2 客观分析

分析要素为 11 层标准等压面(1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100 hPa)上高度、温度、相对湿度(仅分析 300 hPa 以下 7 层)和风. 高度(高度场分析只在预报检验中使用)、温度和风的分析采用二维最优插值方法,相对湿度的分析采用三维最优插值方法^[2]. 为了弥补洋面上缺乏常规资料,应用了卫星测厚和卫星测风报,亦利用了地面报中现在天气和云量、云高的信息,推算 1000、850、700、400 hPa 处的相对湿度. 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 构造和嵌入理想台风

在运行台风预报模式时,根据台风实时库中提供的台风中心位置、海平面气压和大风区域等参数以及客观分析场(提供环境场参数)构造理想台风,其中心位置、强度和范围与实况基本一致. 海平面气压按照 Fujita 公式计算,在上层积云顶高度上置放一个高压,构造成一个具有暖心结构的三维理想台风,嵌入时和环境场设一个过渡区^[2]. 在数值模拟试验中,还根据卫星云图的台风云系构造非对称结构的理想台风进行计算,结果优于对称结构的预报. 由于实时运行中,实时得到定量的云系参数有困难,目前仍用对称结构的理想台风模式.

1.4 初值化

本系统采用将 MM4 的非线性正规初值化方案,并将程序移植到 CD 4680 和 Alpha 2100 计算机上,取得了较好的效果.

1.5 预报模式

模式是以 NCAR-PSU/MM4 为框架加以移植改进而成的.

1.5.1 对 MM4 模式中物理过程参数化方案的选择和修改

MM4 模式包含了较完整的物理过程, 物理过程的处理方案和参数是可选的. 在模拟对比的基础上, 根据预报效果和计算机能力综合考虑后, 水循环过程采用 Anthes-Kuo 积云参数化方案, 边界层采用总体参数化方案, 辐射过程考虑日变化每 30 分钟计算一次, 地表温度预报分洋面和陆面两种情况考虑, 海表温度由多年月平均资料求得 (在积分过程中不变), 陆面温度在积分过程中通过表面能量收支方程求得. 此外, 作了下列修改: 原水平扩散项是沿等 σ 面计算的, 为了减小陡峭地形附近这种计算的不合理性, 把水平扩散项改为沿等压面上计算; 在计算稳定性降水的原方案中, 未考虑雨滴在不饱和层中的蒸发过程, 往往使降水区域扩大, 为此, 在计算稳定性降水时, 可根据 N. Tiedthe(1979)的 σ 坐标中雨滴参数化方案

$$E = a_1(q_s - q) [(1/a_2) \sqrt{\sigma} R]^{a_3}$$

修改了稳定性降水的计算方案. 其中: a_1 、 a_2 、 a_3 为常数, R 为某一层未考虑雨滴蒸发的稳定性降水量, E 是该层雨滴蒸发量. 考虑了雨滴在不饱和层中的蒸发过程后, 稳定性降水的雨区边缘被过分扩展的现象得到了一定程度的纠正.

1.5.2 对 MM4 部分数据的改动

MM4 模式所列的许多数据, 如各种地貌特征的地表物理参数是根据美国的实况确定的, 改造成适用于我国华东地区的业务模式时, 这些数据必须根据本系统预报区域的实际情况加以修改. 参考中国气候图集和中国物理气候图集(农业出版社, 1981年)等有关资料, 划分了我国主要的自然地理气候区域, 确定了各类地理气候区域的地表反照率、比辐射率、土壤湿度(有效水分), 容积热容量及地表粗糙度等地表物理参数.

1.5.3 侧边界的处理

有限域模式侧边界与国家气象中心数值预报产品(目前为 T63 L16)相嵌套. 经对多种侧边界处理方案作试验对比后, 现采用海绵边界处理方案, 当 T63 资料不全时, 系统自动转向不用嵌套的方案运行, 采用流入流出方案处理.

1.5.4 台风路径预报模式中的移动套网格方案

细网格区随 TC 的移动而移动, 每 45 分钟根据海平面气压判断一次 TC 的中心位置. 当中心位置移动的距离达到一个粗网格格距时, 对细网格区域作一次调整, 将离 TC 中心最近的粗网格点作为新的细网格区的中心点, 在细网格区移动后与移动前不重叠的新的细网格点上的值用粗网格值内插得到. 粗、细网格交界域用衔接加权方法处理.

1.6 预报结果的后处理和检验

模式预报量在 σ 面上, 将其插值到标准等压面上, 再求算涡度、散度、垂直速度等主要物理量, 按产品需求输出等值线图和流线图. 台风模式制作每隔 6 小时一次的路径图, 而当运行有限域模式时, 制作华东六省一市 25 个主要城市每隔 6 小时一次的地面要素(降水、温度、风向、风速、海平面气压和相对湿度)图和表格. 对预报产品的检验, 台风模式主要是计算距离、方向和移速误差. 有限域模式除了常规的形势场统计检验外, 针对制作要素预报的特点, 重点是对主要城市的要素预报与实况作对比统计, 以检验其准确性.

2 流程的自动控制和运行情况

根据上海市气象局计算机网络和资源配置情况，设计了自动控制的系统运行流程（见图 1）。当有 TC 进入区域时，每天运行两次（08 时和 20 时）TC 模式，作 48 小时预报，否则每天作一次（08 时）48 小时的有限域模式预报。系统开始运行后，首先在 VAX 3400 计算机上读实时库资料，并把这些资料通过网络传输到 CD 4680 小型机上，实时资料传输完后，从 VAX 3400 给 CD 4680 一个信息，CD 4680 接收到该信息后，即依次自动执行资料准备，客观分析，判别有无进入区域的 TC，自动执行相应的 TC 模式或有限域模

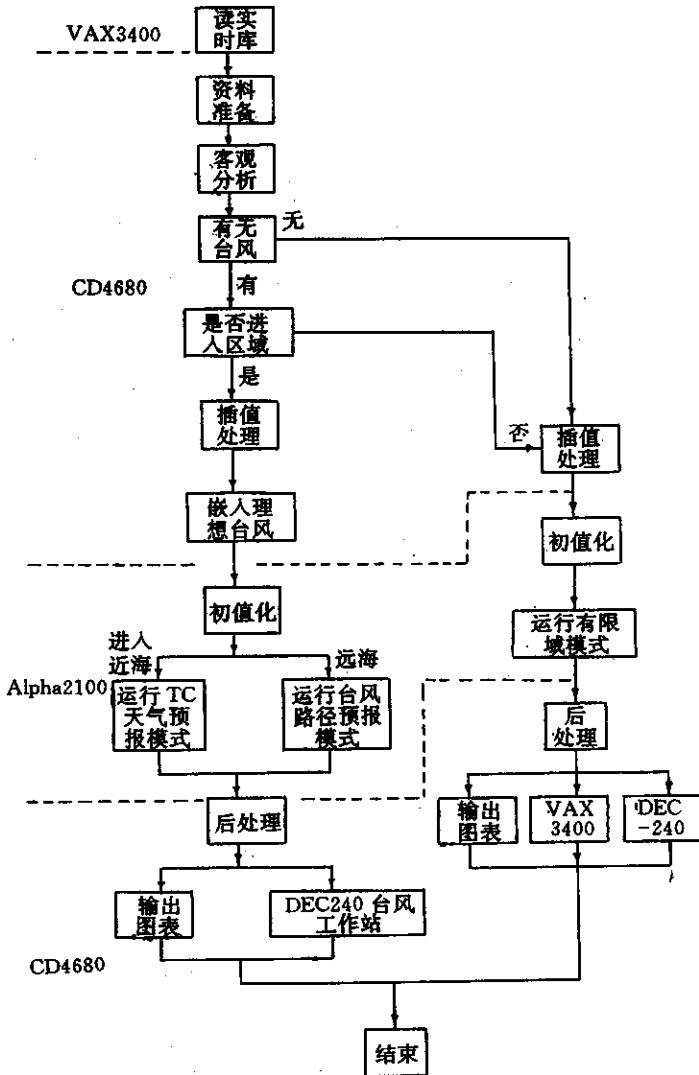


图 1 系统运行流程图

Fig. 1 The system flow chart

式,最后将预报结果以图表形式打印和通过网络传输到上海中心气象台预报工作站,并在电信台 VAX 3400 上建库,供区域内省台调用.同时存贮预报和实况数据,以便进行统计、检验.1995年7月安装 Alpha 2100 小型机后,将耗时较多的初值化和模式积分两个模块移植到该机上运行,解决了 CD 4680 和 Alpha 2100 两台计算机间的通讯交换和自动化,大大缩短了整个系统的运行时间,提高了产品的预报时效.将原在 CD 4680 机上运行的这两个模块保留作备份使用,提高了系统运行的可靠性.整个系统的运行时间约为 60 分钟,完全可满足业务使用的要求.在整个运行过程中,网络传输状况及各个模块执行的主要过程均在终端上显示,以便监控.系统全流程自动控制,依次执行,毋须人工干预.从 1995 年 6 月投入业务试运行以来,计算稳定.

3 系统的产品和预报效果

当有 TC 进入区域时,系统运行 TC 模式,主要产品是 TC 48 小时路径预报,形势场和雨量图.1994、1995 两年台风季节对进入区域的 10 个 TC 作的路径预报,取得了较好的效果,24 小时(24 次)、48 小时(15 次)TC 中心位置平均距离误差分别为 160.4 km

表 1 1996 年 1~3 月华东 7 城市降水预报检验

Table 1 The rainfall forecast verification for seven cities of East China in Jan. ~March, 1996

		济南	合肥	南京	上海	杭州	南昌	福州	
1 月	24 h	评分	0.40	0.63	0.56	0.67	0.50	0.78	0.46
		空报率	0.00	0.29	0.29	0.14	0.29	0.00	0.21
		漏报率	0.60	0.17	0.29	0.25	0.38	0.22	0.48
		预报效率	0.90	0.80	0.73	0.80	0.67	0.87	0.57
2 月	48 h	评分	0.14	0.64	0.44	0.55	0.35	0.52	0.58
		空报率	0.67	0.18	0.33	0.27	0.47	0.21	0.18
		漏报率	0.80	0.25	0.43	0.31	0.50	0.39	0.33
		预报效率	0.80	0.83	0.67	0.70	0.50	0.67	0.67
3 月	24 h	评分	--	0.10	0.33	0.45	0.57	0.50	0.75
		空报率	--	0.83	0.40	0.50	0.20	0.22	0.14
		漏报率	--	0.80	0.57	0.17	0.33	0.42	0.14
		预报效率	--	0.68	0.79	0.79	0.79	0.75	0.86
3 月	48 h	评分	--	0.17	0.15	0.19	0.50	0.44	0.41
		空报率	--	0.78	0.75	0.77	0.33	0.36	0.30
		漏报率	--	0.60	0.71	0.50	0.33	0.42	0.50
		预报效率	--	0.64	0.61	0.54	0.71	0.68	0.64
3 月	24 h	评分	0.23	0.68	0.48	0.60	0.57	0.77	0.78
		空报率	0.73	0.13	0.35	0.29	0.28	0.06	0.14
		漏报率	0.40	0.24	0.35	0.20	0.28	0.19	0.10
		预报效率	0.64	0.79	0.57	0.71	0.64	0.82	0.82
3 月	48 h	评分	0.36	0.52	0.52	0.55	0.62	0.68	0.82
		空报率	0.60	0.33	0.27	0.31	0.19	0.06	0.10
		漏报率	0.20	0.29	0.35	0.27	0.28	0.29	0.10
		预报效率	0.75	0.61	0.64	0.68	0.71	0.75	0.86

和 303.4 km, 对 TC 天气也有一定的预报能力^[2, 3]. 有限域模式产品有各标准等压面上的高度、温度、流场和海平面气压(目前仅输出 500 hPa 24、48 小时高度场和 24、48 小时 850 hPa 温度场), 12~24、24~36 小时雨量图. 区域气象中心业务数值预报系统提供华东六省一市共 25 个城市每隔 6 小时一次的地面要素预报(降水、气温、风速、风向、海平

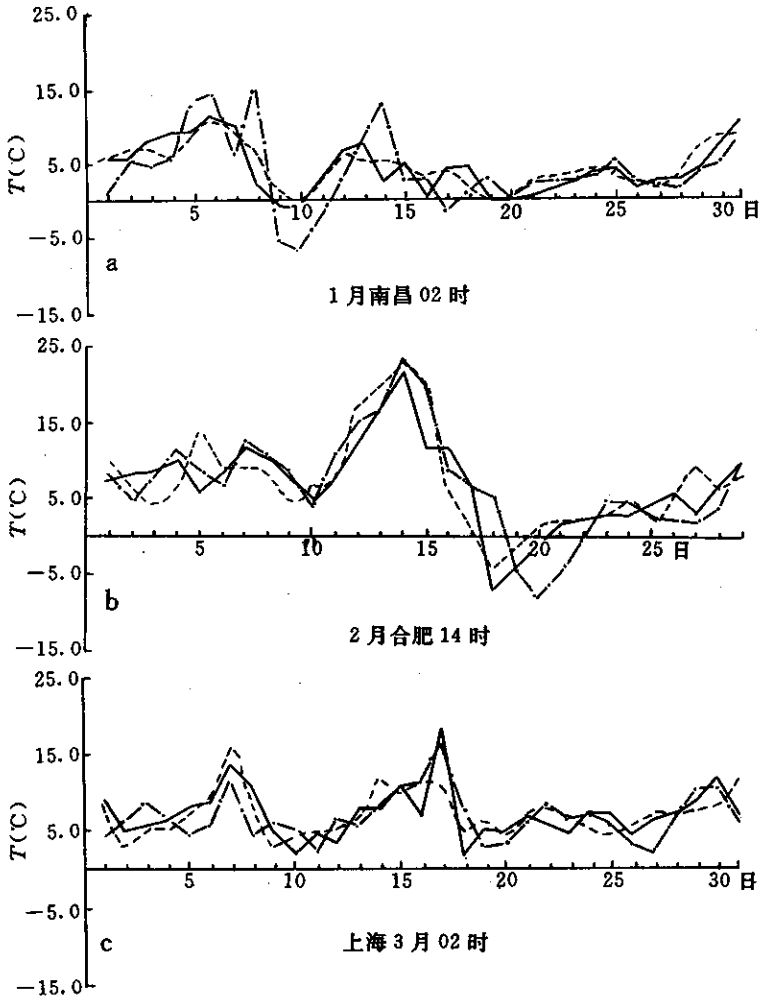


图2 1996年温度预报与实况图

(a) 南昌1月份02时 (b) 合肥2月份14时 (c) 上海3月份02时(实线: 02时为18 h 预报, 14时为6 h 预报; 点划线: 02时为42 h 预报, 14时为30 h 预报; 虚线: 实况)

Fig. 2 The temperature forecast and observed values at (a) 02 : 00 Jan, in Nanchang (b) 14 : 00 Feb. in Hefei (c) 02 : 00 March in Shanghai, 1996 (solid line, 18 h forecast at 02 : 00, 6 h forecast at 14 : 00; dot-dashed line, 42 h forecast at 02 : 00, 30 h forecast at 14 : 00; dashed line: observed values)

面气压和相对湿度). 形势预报和降水产品以等值线图的形式, 而 25 个城市的要素预报用在测站上标数值和画出风矢的图形, 以及表格形式输出. 上述产品可在打印机上打印输出, 也可传输到中心台预报工作站供预报员调用, 同时传输到 VAX 3400 上建库, 供华

东地区省台调用. 产品生成时间为15:00.

对有限区域模式的预报性能的分析表明, 地面温度的预报值较实测值有一系统误差, 经3天滑动订正后地面温度和海平面气压的预报效果有明显改进. 模式预报的降水区域和实况基本相符, 但中心强度一般偏小(详见表1~表3). 需要指出, 在6小时一次的预报中, 由于14时和02时的气温与日最高温度和最低温度值较接近, 所以用02时和14时的要素预报进行检验.

表2 1996年1~3月华东7城市海平面气压和风速的预报检验

Table 2 The SLP and wind forecast verification for seven cities of East China in Jan. ~March, 1996

		气压(hPa)	上海	南京	杭州	福州	南昌	济南	合肥
1月	02时	18 h	5.41	5.34	3.70	4.61	2.48	4.06	4.04
		42 h	5.67	6.54	3.89	5.05	3.44	6.91	5.67
	14时	06 h	4.24	3.59	10.30	10.81	5.96	5.03	4.08
		30 h	2.35	2.47	7.73	9.23	5.15	3.99	2.19
2月	02时	18 h	4.15	5.59	5.90	4.74	4.06	3.84	4.70
		42 h	6.11	6.87	6.13	7.53	5.67	6.57	6.65
	14时	06 h	4.35	4.21	3.42	4.39	3.74	5.18	4.21
		30 h	2.98	3.89	3.46	3.79	2.82	3.92	3.47
3月	02时	18 h	5.34	5.74	3.84	2.97	2.93	3.54	4.56
		42 h	5.73	6.18	4.02	3.57	3.82	6.98	5.33
	14时	06 h	4.69	4.78	5.17	6.54	4.79	6.70	4.85
		30 h	3.09	2.75	4.16	5.64	4.21	3.83	3.16
		风速(m/s)	上海	南京	杭州	福州	南昌	济南	合肥
1月	02时	18 h	2.72	2.85	3.64	5.09	3.56	2.67	2.91
		42 h	3.35	3.03	3.88	6.62	4.84	2.38	2.97
	14时	06 h	1.74	2.31	2.60	4.83	3.19	1.80	2.56
		30 h	2.10	2.04	3.22	4.82	3.40	1.86	2.78
2月	02时	18 h	2.78	3.08	5.03	5.92	4.93	3.32	3.18
		42 h	2.82	2.96	5.03	6.98	5.68	3.63	2.96
	14时	06 h	2.32	2.96	3.52	4.98	3.84	2.84	2.96
		30 h	2.24	2.26	4.18	5.42	4.27	1.63	2.28
3月	02时	18 h	2.34	2.44	4.32	3.67	3.96	3.41	2.15
		42 h	2.61	2.62	4.29	5.10	5.36	2.81	2.52
	14时	06 h	3.00	1.96	3.13	3.80	3.15	2.43	1.74
		30 h	2.31	1.55	2.77	4.19	2.89	2.69	1.84

图2 a、b、c分别为南昌1月份02时, 合肥2月份14时, 上海(宝山)3月份02时温度预报和实况图. 图3 a、b、c分别为南京1月份14时, 杭州2月份14时, 福州3月份02时海平面气压预报和实况图.

从上述图表可以看出, 本系统的要素预报有一定的准确率, 对日常预报有参考价值. 但本系统逐日运行还不到一年, 今后需要继续积累数据, 统计分析预报结果, 积极设法用好 T63 资料, 使嵌套能正常运行, 进一步对照实况, 改进初始场, 提高预报精确

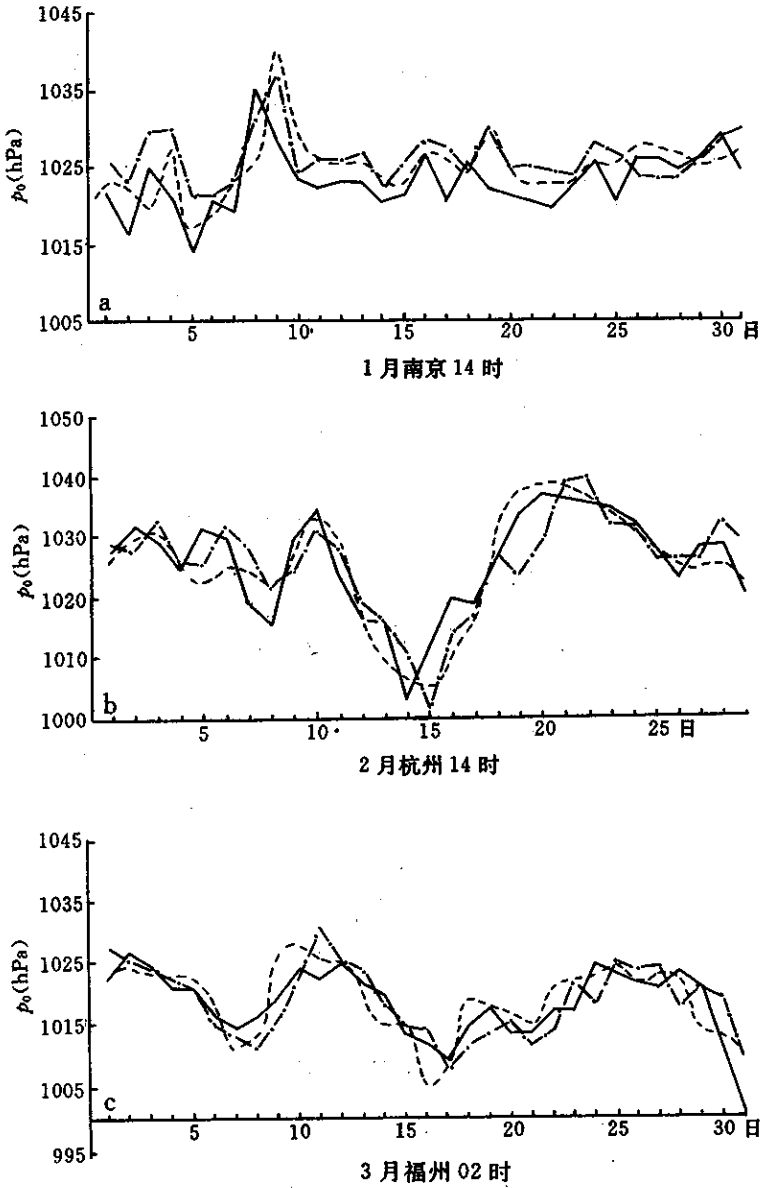


图3 1996年海平面气压(SLP)预报和实况

(a)南京1月份14时 (b)杭州2月份14时 (c)福州3月份02时(实线:02时为18 h 预报,14时为6 h 预报;点划线:02时为42 h 预报,14时为30 h 预报;虚线:实况)

Fig. 3 The SLP forecast and observed values at (a) 14 : 00 Jan. in Nanjing (b) 14 : 00 Feb. in Hangzhou (c) 02 : 00 March in Fuzhou, 1996 (the note as in Fig. 2)

性. 另外要改进后处理模块, 研制和改进检验及要素订正方法, 提高预报水平, 特别是要素预报的能力, 为华东区域省台提供产品品种适用的较好的数值预报产品.

表3 1996年1~3月华东7城市温度预报检验

Table 3 The temperature forecast verification for seven cities of East China in Jan~March, 1996

			上海	南京	杭州	福州	南昌	济南	合肥	
月	02时	18 h	t_p	2.13	2.04	2.57	3.99	1.31	2.29	1.61
			t_n	20	22	22	19	20	20	19
	42 h	t_p	3.51	3.15	3.89	5.09	2.79	3.63	2.88	
		t_n	17	17	18	18	22	18	13	
	14时	06 h	t_p	2.59	2.81	2.83	6.10	2.11	2.65	2.03
			t_n	16	18	18	22	20	19	19
30 h		t_p	3.64	2.98	3.84	5.98	2.62	3.51	3.19	
		t_n	16	16	19	20	24	16	18	
2月	02时	18 h	t_p	2.00	2.24	4.09	2.61	2.36	2.25	1.93
			t_n	22	22	20	20	19	20	23
	42 h	t_p	3.56	3.56	3.99	3.43	2.95	3.41	3.29	
		t_n	17	18	17	20	21	20	20	
	14时	06 h	t_p	2.94	2.92	3.92	4.48	3.07	3.77	2.83
			t_n	17	19	16	14	15	16	17
30 h		t_p	2.68	4.46	3.97	2.81	2.76	3.96	3.28	
		t_n	18	17	16	19	18	14	18	
3月	02时	18 h	t_p	2.08	2.10	3.21	3.70	5.80	1.93	1.76
			t_n	21	18	20	21	21	20	16
	42 h	t_p	2.52	2.93	3.69	4.20	3.57	2.90	2.56	
		t_n	16	16	19	19	20	14	17	
	14时	06 h	t_p	4.22	3.45	4.95	6.85	4.62	4.46	3.49
			t_n	17	18	16	18	15	14	16
30 h		t_p	4.00	4.43	5.48	6.50	5.11	5.08	4.47	
		t_n	18	13	15	16	19	14	14	

注: t_p (温度预报绝对值误差的月平均值)单位为 $^{\circ}\text{C}$, t_n (温度升降趋势正确或预报误差绝对值 $<1^{\circ}\text{C}$ 的日数,单位为日)

参考文献

- 1 Richard A. Anthes etc. Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM 4), NCAR Technical Note. May 1987.
- 2 顾建峰,徐一鸣,殷鹤宝,等. 东海热带气旋路径预报模式的试用结果. 大气科学研究与应用, 1995, (8), 1~9.
- 3 雷小途,端义宏. 东海热带气旋预报业务系统的研制及初步试验. 大气科学研究与应用, 1995, (8), 10~18.

THE NEW OPERATIONAL NUMERICAL PREDICTION SYSTEM OF SHANGHAI REGIONAL METEOROLOGICAL CENTER AND PRELIMINARY ANALYSIS OF OPERATIONAL RESULTS

Yin Hebao Gu Jianfeng Lei Xiaotu

(*Shanghai Research Institute of Meteorological Science, Shanghai 200030*)

Abstract

According to computer resources disposition in Shanghai Meteorological Bureau and numerical forecast products of National Meteorological Center, a new operational numerical prediction system of Shanghai regional Meteorological Center is set up with the model frame of NCAR-PSU/MM4, and the former operational system of five level nested model is renewed. According to whether there is tropical cyclone or not getting to the domain, the typhoon model or limited-area model is carried out, respectively. Through one year operation, it is shown that the computation of new operational system is of stability and there is a good prediction effect. In the meantime the forecast products, including the surface element predictions every 6 h for 25 cities in East China, can be provided for provincial meteorological Bureau in the regional center.

Key words: Numerical prediction Operational system Regional center