

基于 MM5 模式的站点降水预报释用方法研究

陈力强

(北京大学物理学院, 北京 100871; 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

韩秀君 张立祥

(沈阳中心气象台, 沈阳 110016)

摘要 对 MM5 模式输出产品解释应用, 建立县级站点定量降水 MOS 预报模型。方案为将影响辽宁降水的天气模型归纳为动力诊断模型, 从中构造出多个能够较全面反映降水模型特征的综合物理因子; 根据站点降水的气候分布特征, 对偏态分布的降水量进行正态化处理, 处理方案为首先将降水量划分为有雨和无雨两档, 然后对有雨样本进行分级、开 4 次方处理, 经分析对比降水量经过正态化处理后建立的预报模型优于未经处理的模型。运用统计方法建立站点降水预报模型, 该模型分为晴雨预报模块和雨量预报模块。通过 2001 和 2002 年夏季业务试运行表明, 该模型对降水有较强的预报能力, 较原模式预报水平有一定改进。

关键词 释用方法 降水预报 MM5 模式 正态化

引言

MM5 模式在我国有很多用户, 但大多侧重于模式研究、数值模拟及业务运行等方面^[1~2], 而在对其产品进行深加工, 进一步提高预报精度方面做的很少。沈阳区域气象中心从 1997 年就开始了 MM5 模式的业务运行工作^[3], 经过不断的完善, 其预报产品已经成为辽宁省各级气象台站重要的指导产品。当前运行的 MM5 模式分辨率已经达到 15 km, 可以根据用户需要输出不同层次的各种气象要素, 为制作高分辨率的站点降水预报提供了优越条件。关于数值产品释用工作我国多见对 T106(或 T213) 模式、EC 模式等全球模式的释用^[4], 由于受资料输出种类、数量、资料分辨率等条件的限制, 在制作县级站点定量预报中, 预报效果难以满足业务的需要。王迎春等^[5]在国家气象中心与北京市气象局联合开发的“北京地区中尺度数值预报业务系统”基础上, 利用高分辨率中尺度数值预报产品, 分别使用统计和动力释用方法进行局地温度、风和北京市区空气污染状况的预报, 取得了较好的预报效

果, 但未涉及降水预报。本研究的目标为研究对 MM5 模式输出产品的降水释用方法, 建立用于制作辽宁省夏季县级站点定量降水预报的 MOS 预报模型。

1 资料的选用

为得到连续的大样本资料以满足建立 MOS 方程的需要, 利用当前运行的 MM5 模式对 1997 年到 1999 年 6~8 月进行了逐日反算, 每天 08:00(北京时间, 下同)、20:00 分别积分 48h, 得到样本长度为 552 的 MM5 模式输出产品, 完全可以满足建立 MOS 方程的需要。模式输出产品为水平分辨率为 15 km 的降水量及各标准等压面基本气象要素, 以进一步计算所需物理量。选用 1990 年到 1999 年 6~8 月辽宁省县级以上站点 08:00、20:00 24h 降水量, 以对预报对象进行正态化处理。

2 释用方案简介

采用 MOS 方法逐站建立降水预报模型, 具体方案为: ①将影响辽宁降水的天气模型归纳为降水

的动力诊断模型;②根据动力诊断模型构造多个能够综合反映降水模型特征的物理因子,对物理因子进行线性化处理以满足建立线性预报方程的需要;③由于站点降水分布为偏态分布,为满足建立线性逐步回归方程的需要,需对降水资料进行正态化处理;根据各站点降水的气候分布特征,选取了 3 套正态化处理方案(分级、开 4 次方、原始)分别建立预报模型,每套模型分为晴雨预报和雨量预报两个模块;④根据物理因子与预报对象的相关性,初选预报因子;⑤应用线性逐步回归方法建立不同正态化处理方案的 MOS 方程,根据拟合和预报试验情况选出最终模型。

3 预报模型的建立

3.1 影响辽宁降水的动力诊断模型

关于辽宁夏季降水的天气模型已有许多研究^[6],大多侧重于天气系统的配置,最具代表性的是“三带”系统的有利配置,即西风带的西风槽、副热带高压、热带系统达到最佳配置,在辽宁便会产生强降水;另一种是对辽宁暴雨进行天气分型,比较简洁地分为西风槽与副热带高压迎合型、东北冷涡型、热带气旋直接影响型。从动力诊断角度,西风槽对强降水主要是动力及冷暖空气的贡献,副热带高压主要是暖湿气流或不稳定能量的输送,所以我们可以用动力诊断模型来反映前面的天气模型。①充足的水汽输送和强烈的水汽辐合。这是产生强降水的关键因素,其中水汽输送的最大值不一定表现在测站上空,一般位于强降水区的偏南方,低层水汽的辐合强弱一般对应降水的强弱。②冷暖空气的有利配置。强降水都对应强的暖湿空气与冷空气的交汇,而冷空气一般偏后于强降水区,强降水区一般是暖区降水,所以冷暖空气的配置非常重要。③有利的大气层结。强对流天气都对应强的条件不稳定层结,底层暖湿,高层干冷;而稳定性降水对应弱的稳定层结或中性层结及更厚的湿层。④强烈的上升运动。这是产生强降水的基本动力条件。

3.2 综合预报因子的构造

从强降水的动力诊断模型就可以构造综合预报因子。

(1) 水汽因子

水汽因子包括低层水汽辐合项(D_q)和水汽的上下游效应项(Q_v),分别表示水汽的辐合和输送。

水汽辐合项(D_q)由 925hPa、850hPa、700hPa 3 层水汽通量散度(D_i)和表示;水汽的上下游效应项(Q_v)由预报站点南部 925hPa、850hPa、700hPa 3 层水汽通量(Q_f)和表示。具体表达式为:

$$D_q = D_{i700} + D_{i850} + D_{i925}$$

$$Q_v = Q_{f700S} + Q_{f850S} + Q_{f925S}$$

(2) 冷暖空气强度因子

冷暖空气强度因子包括高低层冷暖空气对比项(T_v)、能量输送项(T_h)、锋生及锋区强度项(F)和总能量(E)项。高低层冷暖空气对比项(T_v)由预报站点低层(850hPa)南部与中高层(500hPa)北部温度平流(T_a)差表示。能量输送项(T_h)由预报站点南部 850hPa θ_{se} 平流表示^[7]。锋生及锋区强度项(F)由 700hPa Q 锋生函数表示。总能量(E)项由中低层 500hPa、700hPa、850hPa 假相对位温和表示。具体表达式为:

$$T_v = T_{a850S} - T_{a500N}$$

$$T_h = (-\theta_{se} \nabla V)_{850S}$$

$$E = \theta_{se500} + \theta_{se700} + \theta_{se850}$$

其中 θ_{se} 为假相对位温, V 为风矢。

(3) 大气层结因子

大气层结因子包括 K 指数和整层水汽饱和度项(H)。整层水汽饱和度项(H)由 500hPa、700hPa、850hPa 3 层温度露点差(T_{td})和表示。具体表达式为:

$$H = T_{td500} + T_{td700} + T_{td850}$$

(4) 上升运动因子

上升运动因子包括上升运动项(W)和螺旋运动项(V_o)。上升运动项(W)包含高层辐散(200hPa 散度)、低层辐合(850hPa 散度)及中层(500hPa)正涡度平流;螺旋运动项(V_o)包含低层正涡度(850hPa 涡度)、高层负涡度(200hPa 涡度)、中低层上升运动(700hPa 上升运动)。具体表达式为:

$$W = D_{200} - D_{850} + V_{v500}$$

其中 D 为散度, V_v 为涡度平流

$$V_o = \zeta_{850} - \zeta_{200} - \omega_{700}$$

其中 ζ 为涡度, ω 为垂直速度

由于不同的物理量有不同的量纲,所以具体计算预报因子时需对各物理量先进行标准化处理,这里采用方差标准化处理^[8]。

3.3 预报对象的处理

运用 1990 年到 1999 年辽宁省各站的 24h 降水量资料,分析了 6~8 月不同降水等级的气候概率。以沈阳站为例,无雨的气候概率为 0.67,有雨的气候概率为 0.33,而在有雨的个例中(表 1),各等级的气候概率也有明显差异,随着降水级别的提高,气候概率迅速减小。小雨的气候概率为 0.69,暴雨以上的气候概率仅为 0.05,所以各降水等级的概率分布为明显的偏态分布。依据经典的统计理论^[9],预报因子和预报对象接近正态分布建立的统计方程才比较稳定,所以我们首先对预报对象进行正态化处理。

表 2 沈阳站降水正态化处理等级划分表

	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级
降水量	0.0~0.1	0.2~0.3	0.4~0.7	0.8~2.2	2.3~9.9	10~24.9	25~49.9	50~100	>100

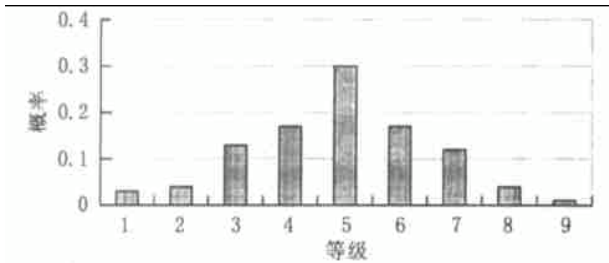


图 1 降水等级概率分布图

(2)开 4 次方方案

对降水量开 4 次方,这样处理后降水量也基本服从正态分布,而且可以得到其连续变化。

将预报分为晴雨预报和有雨雨量预报两步,不但使它们的预报对象基本服从正态分布,建立的统计方程会更加稳定,而且极大地减小了降水的空报次数,无需再进行消空处理,较不对预报对象进行处理有明显的优势。

3.4 预报因子与预报对象的相关性分析

应用 1997 年到 1999 年 6~8 月 MM5 产品逐日 2 次的反算资料,首先计算各预报因子的网格点值,然后插值到站点,计算其与正态化处理后的站点降水实况的相关系数。表 3 为沈阳站各预报因子与不同处理方案的预报对象之间的相关系数(原始为降水量值不作处理),36 为 12~36h 的预报对应的降水实况,48 为 24~48h 的预报对应的降水实况,预报因子中降水的预报时效与预报对象是对应的,

表 1 沈阳站有雨个例降水等级气候概率分布

小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨以上
0.69	0.17	0.09	0.04	0.01

由于无雨的气候概率最大,所以首先将降水量划分为有雨和无雨两档,有雨用 1 表示,无雨用 0 表示,以建立晴雨预报方程,即概率预报方程。然后对有雨的个例再进行正态化处理,我们采用了两套方案即分级处理和开 4 次方处理。

(1) 分级处理方案

将降水量划分为 9 级(表 2),图 1 为各等级降水的概率分布,可以看出分级后的降水量基本服从正态分布。

表 3 沈阳站预报因子与不同预报对象相关系数

预报因子	晴雨		原始		开 4 次方		分级	
	36	48	36	48	36	48	36	48
降水	0.53	0.54	0.57	0.54	0.66	0.64	0.68	0.59
K 指数	0.42	0.36	0.25	0.28	0.42	0.40	0.42	0.38
总能量	0.46	0.39	0.43	0.52	0.54	0.56	0.51	0.46
饱和度	-0.45	-0.35	-0.29	-0.32	-0.44	-0.40	-0.45	-0.34
水汽效应	0.37	0.16	0.47	0.66	0.48	0.46	0.46	0.25
能量输送	0.28	0.21	0.38	0.59	0.47	0.46	0.46	0.28
冷暖空气	0.32	0.20	0.23	0.06	0.24	0.23	0.25	0.15
水汽辐合	-0.21	-0.16	-0.21	-0.54	-0.23	-0.41	-0.26	-0.15
螺旋运动	-0.20	-0.16	-0.20	-0.47	-0.18	-0.33	-0.23	-0.20
Q 锋生	0.15	0.13	0.18	0.37	0.22	0.26	0.22	0.09
上升运动	0.12	0.10	0.23	0.30	0.23	0.17	0.22	0.10

其它物理因子的预报时效对应预报对象的中间时刻。从表 3 可以看出,正态化处理后降水的相关系数明显高于原始降水的相关系数,而开 4 次方与分级降水之间的差别不大。降水、K 指数、总能量、能量输送、水汽上下游效应、水汽饱和度等预报因子的相关系数都通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。降水预报的相关系数最高,与 36h 分级降水的相关系数达 0.68,可见 MM5 的降水预报准确率是相当高的;K 指数和水汽饱和度与晴雨的相关系数比较高,说明它们是判断有无降水的重要指标;能量输送和水

汽上下游效应与有雨的相关性较好。上升运动项等的相关性较差,这可能与散度等物理量时间尺度较小有关,也就是所选时次不能反映 24h 内的状况,需要进一步研究。这样初选降水、K 指数、总能量、能量输送、水汽上下游效应、水汽饱和度、冷暖空气、螺旋运动为建立预报方程的预报因子。为考虑天气系统不同位置的影响,选取预报站点周围 4 个格点值与站点值一起作为待选预报因子,从中选取相关性最好的点作为该站对该预报因子的位置。

3.5 预报模型的建立

应用线性逐步回归方法,根据初选的预报因子和正态化处理后的预报对象逐站建立 36h、48h 降水预报模型,每站的预报模型分为两个模块,即晴雨预报(概率预报)模块和雨量预报模块,当晴雨预报模块预报有降水才启动雨量预报模块。为提高预报方程的稳定性,最后进入方程的预报因子控制在 5 个左右。以沈阳站 12~36h 晴雨预报为例,进入预报方程的预报因子有:降水、K 指数、水汽饱和度、低层水汽辐合、水汽上下游效应。

从前面的相关性分析可知,对预报对象开 4 次

方与分级降水处理之间的差别不大,为得到定量的降水预报,雨量预报模块选取了开 4 次方和原始降水两套方案。通过对两套方案历史拟合率的统计分析,开 4 次方的平均拟合率为 96%,而原始降水的拟合率为 92%。所以经过正态化处理后拟合率得到改善,选取开 4 次方方案作为最终建模方案。

4 业务试运行情况分析

该预报模型在 2001 和 2002 年汛期进行了业务试运行,经过统计分析预报准确率较原 MM5 模式预报有一定提高。应用国家规定的日常降水预报评分标准,将降水分为一般性降水(24h 雨量大于 0mm,小于 50mm)和暴雨以上降水(大于等于 50mm),计算 12~36h 和 24~48h 的 TS 评分和定性预报技巧(SS1)。TS = 预报正确次数 / (预报正确次数 + 错误次数) × 100%; SS1 = (TS - AC) / (1 - AC) × 100%, AC 为气候概率。预报 0mm 降水,实况未出现降水的过程不评,不计入正确次数。表 4 为 2001、2002 年 6~8 月,辽宁 51 个站点平均的评分结果表。

预报方法	一般降水 TS		一般降水 SS1		暴雨 TS		暴雨 SS1	
	12~36h	24~48h	12~36h	24~48h	12~36h	24~48h	12~36h	24~48h
MOS	67.8	61.4	63.4	56.3	27.4	23.3	26.9	22.6
MM5	67.1	57.1	63.1	53.8	24.3	21.7	23.8	20.4

从表 4 可以看出,该预报模型的预报准确率较 MM5 模式总体有一定提高,而且各类预报都是有技巧预报,与日常业务预报水平相当,特别是一般降水的 24~48h 预报较原模式提高比较明显,另外对暴雨的预报也有一定改进,但一般降水 12~36h 预报改进不大。2001 年汛期,辽宁省出现了 8 次强降水过程,该系统 6 次预报基本正确,其余 2 次在强度和预报时效上有差异,特别对 7 月 3~4 日过程、7 月 21 日过程提前 48h 做出准确预报;对 8 月 1~2 日过程、16~17 日过程提前 24h 做出准确预报。2002 年汛期辽宁出现了 3 次区域性暴雨,该模型也做出较正确的预报。所以该预报模型对夏季降水有较高的预报能力,但其稳定性还需进一步检验和改进。

5 结论

(1) 对高分辨率的 MM5 模式进行释用,由于不

受资料输出种类、数量、资料分辨率等条件的限制,更适合作县级站点定量降水预报。

(2) 将影响辽宁降水的天气模型归纳为动力诊断模型,从中构造出多个能够比较全面反映降水模型特征的综合物理因子,提高了预报因子与降水的相关性。

(3) 根据站点降水的气候分布特征,对偏态分布的降水量设计了分级和开 4 次方两套方案进行正态化处理,使建立的统计方程更加稳定。经过分析对比降水量经过正态化处理后建立的预报模型优于未经处理的模型。

(4) 降水预报模型分为晴雨预报模块和雨量预报模块两部分,不但使它们的预报对象基本服从正态分布,而且极大地减少了有雨的空报次数,无需再进行消空处理,较不对预报对象进行处理有明显的

优势。

(5)通过 2001、2002 年夏季业务试运行表明,该模型对降水有较强的预报能力,较原模式预报能力有一定改进。

参考文献

- 1 高山红,谢红琴,吴增茂.台风影响下渤海及邻域海面风场演变过程的 MM5 模拟分析.青岛海洋大学学报,2001,31(3):325-331
- 2 江勇,赵鸣,汤剑平,等.MM5 中新边界层方案的引入和对比试验.气象科学,2002,22(3):253-263
- 3 周小珊,杨森,张立祥.中尺度数值模式(MM5 V3)在沈阳区域气象中心的试用.气象,2001,27(8):28-32
- 4 钟元,吴钟,浚李泓.汛期大-暴雨的降水概率预报模式.气象,2000,26(3):6-11
- 5 王迎春,刘凤辉,张小玲,等.北京地区中尺度非静力数值预报产品释用技术研究.应用气象学报,2002,13(3):312-321
- 6 辽宁省气象局.辽宁省短期天气预报指导手册.辽宁省气象局,1988.85-185
- 7 孙建明,李法然,杨育强.暴雨预报因子及其统计特征.气象,1998,24(11):36-37
- 8 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,1990.9-10
- 9 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,1990.33-34

Study of Station Precipitation Forecasting Method Based on MM5 Model Output

Chen Liqiang^{1,2} Han Xiujun³ Zhang Lixiang³

(1 Physics School, Beijing University, Beijing 100871, China; 2 Institute of Atmosphere Environment, CMA, Shenyang 110016, China; 3 Shenyang Central observatory, Shenyang 110016, China)

Abstract: A diagnose model is concluded from the synoptic and dynamical model of affecting Liaoning Province precipitation, and some synthesis physical factors are constructed. Based on the climate features of precipitation, the partially distributing precipitation is normalized to satisfy the needs of building steady equations. The precipitation is divided into two sorts (rain, no-rain), and then rain samples are normalized with the method of classification and extraction of 4 roots. The precipitation forecasting model, which includes rain probability and precipitation models, is built with the statistic method. The results of operational experiments in 2000 show that this model has great capabilities in forecasting rains, and the precipitation-normalized model is better than the non-normalized.

Key words: method of interpretation and application, precipitation forecast, MM5 model, normalization