

不同深对流参数化方案在降水 预报中的比较试验

顾建峰

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

提 要

用中尺度模式(MM5)与国家气象中心全球谱模式相嵌套,对华东地区 27 个测站两个月(1997 年 3 月和 7 月)的降水预报,进行了 3 类深对流参数化方案的比较试验,发现不同深对流参数化方案对降水预报质量的影响存在一定的差异,而且这种差异在 7 月份要比 3 月份明显。

关键词:深对流参数化 降水预报 比较试验

引 言

深对流过程不仅会引起湿热场垂直结构的改变,也会产生净的潜热释放和对流降雨,净潜热释放为低层大尺度水汽辐合的维持提供了能源,反过来,后者的维持又为前者的降雨过程提供充足的水汽,这种深对流过程与大尺度环流之间相互作用的复杂性,使得深对流参数化工作既十分重要又非常困难。随着数值天气预报研究与应用的广泛开展,在大量观测试验的基础上,许多深对流参数化方案已被成功地应用到数值预报研究和业务模式中。本文从业务应用考虑,在上海区域气象中心现有计算机条件(Alpha2100)基础上,选择 MM5 中耗费 CPU 时间较少的 3 种深对流参数化方案(Anthes-Kuo、Grell 和 Betts 方案)对华东地区降水预报质量的影响作了两个月(1997 年 3 月和 7 月)的比较试验。

1 有限区域数值模式

以 MM5 的静力模式^[1]为动力框架,采用标准经度为 125°E 的 Lambert 地图投影,

水平分辨率为 37.5km,区域中心点在(30.2°N, 118.6°E),格点数为 95×95,垂直方向为 15 层 σ 坐标,模式顶取 100hPa,其中垂直速度 σ 定义在整 σ 层上,其余变量均定义在半 σ 层上。积分时间步长取 120s。地形资料取自 1/6×1/6 经纬度格点全球地形资料。行星边界层参数化采用高分辨率 Blackadar 边界层模式,地面温度预报是根据强迫-恢复薄层模式,通过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,下垫面特征及相应物理参数是根据预报区域的实际情况确定的。模式侧边界采用时变海绵处理方案与国家气象中心全球谱模式(T106)相嵌套。

2 深对流参数化方案

模式中大尺度降雨过程采用饱和凝结溢出法处理,对流降雨过程分别采用了 Anthes-Kuo(简称 A-K)、Grell 和 Betts 3 种深对流参数化方案。

2.1 A-K 方案

A-K 方案^[2~4]即大尺度水汽辐合式方

案,假设大尺度环境场辐合作用为云柱提供的水汽 M_t 为:

$$M_t = -g^{-1}m^2 \int_0^{\infty} \nabla \cdot \frac{P^* V q_v}{m} d\sigma$$

式中 $P^* = P_s - P_t$, P_s 是地面气压, P_t 是模式顶气压; m 是地图放大因子, M_t 的一部分 $(1-b)M_t$ 被用于成云降雨, 余下部分 bM_t 则被卷出云外湿化环境, b 为湿化系数, 与云柱平均相对湿度 \overline{RH} 有关

$$b = \begin{cases} 2(1 - \overline{RH}) & \overline{RH} \geq 0.5 \\ 1.0 & \overline{RH} < 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

从积云对流的作用机制上看, 该方案认为积云本身的上升运动“侵入”到深厚的条件性不稳定层中, 把底层大尺度环境场辐合的水汽输送至高层, 冷却凝结, 成云降雨, 释放潜热。云内暖湿空气与环境场发生侧向混合, 对大尺度环境场发生反馈影响, 使环境场加热、加湿。

2.2 Grell 方案

Grell(1993)^[5] 提出如图 1 所示的简单概念模型, 假设云与环境场之间的直接混合只发生在云底和云顶, 而在云的边缘没有卷入、卷出发生, 垂直方向上的质量通量设为守恒;

$$m_u(z) = m_u(z_b) = m_b \quad (3)$$

$$m_d(z) = m_d(z_0) = m_0 \quad (4)$$

m_u 、 m_d 分别是上升气流和下沉气流的质量通量; m_b 为云底层向上的质量通量; m_0 为下沉气流起始层向下的质量通量。 m_b 的求解与浮力能有关, m_0 设为与 m_b 成比例。对于云内任一热力变量 α 的收支简单表示为:

$$\alpha_u(z) = \tilde{\alpha}(z_b) + S_u(z) \quad (5)$$

$$\alpha_d(z) = \tilde{\alpha}(z_0) + S_d(z) \quad (6)$$

云内水汽的收支在饱和假定下近似表示为:

$$q_c(z) = \tilde{q}^* + \frac{v}{1+v} \frac{1}{L} [h_c(z) - \tilde{h}^*(z)] \quad (7)$$

$$v = \frac{L}{C_p} \left(\frac{\partial \tilde{q}^*}{\partial T} \right) \quad (8)$$

式(5)~(8)中上标“ \sim ”表示环境场的值; S_u 和 S_d 分别为凝结和蒸发; 上标“ $*$ ”表示饱和值; h 为湿静力能。

该方案中积云对流对大尺度环境场的反馈作用完全由补偿的质量通量和云顶、云底的卷出效应决定。

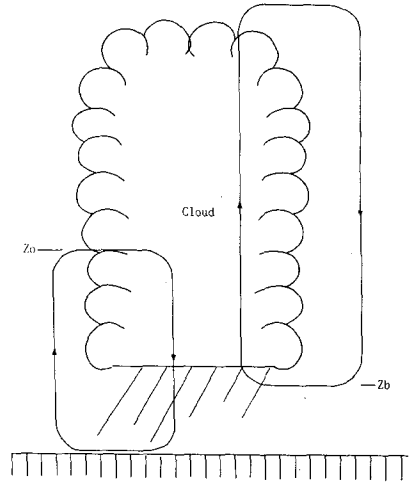


图 1 Grell 对流参数化概念模型

2.3 Betts 方案

湿对流调整方案是从积云对流调整前后大气湿热场垂直分布的变化, 考察积云对流对大尺度环境场的影响作用。Betts(1986)^[6] 在大量对流系统垂直廓线观测事实的基础上, 提出了一个更为合理的对流调整垂直廓线。位温参考廓线为:

$$\theta_a(P) = \theta_a(P_b) + \alpha_w \left(\frac{\partial \theta}{\partial P} \right)_m (P - P_b) \quad (9)$$

(冻结高度以下)

$$\theta_a(P) = \theta_a(P_f) + \left(\frac{\partial \theta}{\partial P} \right)_{P_f} \cdot (P - P_f) \quad (10)$$

(冻结高度以上)

式中上标“ $-$ ”和下标“ a ”分别表示对流调整前、后的值; $\alpha_w = 1.5$ 为稳定度权重系数; “ m ”表示湿绝热情况; P_b 、 P_f 、 P_t 分别表示云底、冻结高度和云顶的气压。湿度参考廓线由

下式确定:

$$q_a(P) = \frac{379.1}{P^*} \exp \left[\frac{17.269(T^* - 273.16)}{(T^* - 35.86)} \right] \quad (11)$$

$$T^* = T_a \left(\frac{P^*}{P} \right)^{R/C_p} \quad (12)$$

式中 P^* 是气块沿湿绝热线上升达饱和处的气压。

该方案虽然不能详细地描述出积云对流与环境强迫场之间的相互作用,但由于其参考廓线的确定是建立在大量观测事实基础上的,因此,该方案仍能给出较好的对流加热、加湿的垂直分布。

3 模式初值和侧边界资料

从实时资料库中读取 1997 年 2 月 27 日~3 月 30 日和 6 月 29 日~7 月 30 日每天 08 时的常规资料和非常规资料,常规资料有地面报、探空报(包括船舶报和测风报),非常规资料包括卫星测风、卫星测厚及可降水报。同时读取相应时段国家气象中心全球谱模式每天 20 时预报的间隔为 12 小时的预报产品,其中 12 小时的预报产品用作客观分析的初估场,12~60 小时的预报产品经空间和时间内插得到有限区域模式侧边界上的预报变数和时间倾向值。客观分析采用三维最优插值方法,分析层次为 11 层(1000~100hPa)标准等压面。分析场经空间内插转换到模式层次,形成有限区域模式的初值。

4 降水检验方法

选取华东地区 27 个发天气报的国家基本站(图 2 所示)作为检验对象。检验所用实况资料取自实时资料库中地面报中的每天 08 时~08 时的 24 小时降水量,检验时段为 1997 年 3 月 1~31 日和 7 月 1~31 日。预报的降水场先用双线性内插方法插值到上述 27 个测站上。检验方法采用时间序列上的 TS 评分方法,即对每一个测站有

$$TS = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c} \quad (12)$$

式中 N_a 是一个月中实况有雨预报正确的天数, N_b 、 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,则整体 TS 评分 WTS 定义为:

$$WTS = \frac{WN_a}{WN_a + WN_b + WN_c} \quad (13)$$

式中 $WN_a = \sum_{i=1}^N N_{a_i}$, $WN_b = \sum_{i=1}^N N_{b_i}$, $WN_c = \sum_{i=1}^N N_{c_i}$, N 为测站数。

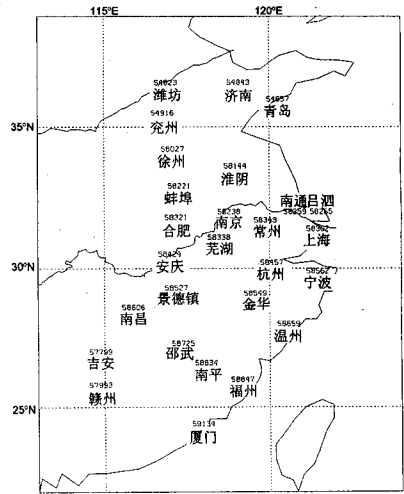


图 2 检验所用的华东地区 27 个测站分布

5 预报效果比较

模式以 08 时为初始时刻,每天计算 48 小时,对前 24 小时和后 24 小时的降水预报分别进行了检验。有/无降水的检验,3 类深对流参数化方案逐站预报效果由式(12)进行检验,表 1 给出了 15 个测站的检验情况。分级降雨的整体 TS 评分由式(13)计算(见表 2)。

5.1 有/无降雨预报效果比较

在有/无降雨的 TS 评分时,对微量降水 (T) 的处理与预报员降水评分的惯例是一致的,即实况出现 T 量时,无论预报有、无降雨均作正确处理。对 3 月份的预报,由于对流

性天气过程较少,因此,3类深对流参数化方案之间的差异比较小,从表1可见,相同测站间TS评分的差异幅度均在10%以内,其中,差异 $\geq 5\%$ 的测站24和48小时预报均只有6个。虽然如此,不同深对流参数化方案之间还是存在着一定的差别。对于24小时预报,只有6个测站的TS评分没有发生变化,其余21个测站的TS评分均发生了不同程度的变化;A-K方案与另两种方案比较,TS评分最好的测站只有5个,最差的却有14个;Grell方案与另两种方案比较,TS评分最好的有12个测站,最差的有6个测站;Betts方案与另两种方案比较,TS评分最好的测站有

14个,最差只有5个。对于48小时的预报情况,也有21个测站的TS评分发生了变化,与另外两种方案比较,A-K方案TS评分最好的测站有8个,最差是11个;Grell方案TS评分最高的测站也是8个,最低是9个;Betts方案TS评分最好的测站有11个,最差是7个。比较它们整体TS评分情况(见表2),24、48小时预报的整体TS评分都是Betts方案最高,24小时预报Grell方案与Betts方案相当,A-K方案最差,48小时预报A-K方案和Grell方案相当,其中,最好和最差方案之间整体TS评分的差别24、48小时分别为1.8%和0.4%。

表1 有/无降水的TS评分比较

	3月						7月					
	24小时预报			48小时预报			24小时预报			48小时预报		
	A-K	Grell	Betts	A-K	Grell	Betts	A-K	Grell	Betts	A-K	Grell	Betts
济南	0.29	0.25	0.25	0.31	0.31	0.29	0.58	0.45	0.27	0.48	0.53	0.53
兖州	0.57	0.57	0.57	0.31	0.31	0.33	0.75	0.42	0.60	0.48	0.50	0.50
淮阴	0.60	0.60	0.60	0.33	0.35	0.35	0.69	0.56	0.57	0.52	0.52	0.71
南京	0.62	0.65	0.65	0.55	0.55	0.55	0.75	0.71	0.76	0.59	0.62	0.60
吕泗	0.73	0.76	0.76	0.59	0.60	0.59	0.68	0.65	0.77	0.57	0.55	0.67
常州	0.65	0.65	0.68	0.69	0.69	0.67	0.65	0.60	0.64	0.61	0.63	0.69
合肥	0.68	0.67	0.70	0.57	0.55	0.55	0.48	0.45	0.52	0.54	0.54	0.65
安庆	0.72	0.75	0.75	0.68	0.68	0.68	0.42	0.41	0.43	0.39	0.40	0.44
上海	0.70	0.74	0.74	0.68	0.68	0.68	0.71	0.76	0.71	0.60	0.60	0.64
杭州	0.88	0.88	0.88	0.83	0.88	0.88	0.83	0.71	1.00	0.60	0.68	0.70
金华	0.73	0.76	0.76	0.67	0.69	0.72	0.83	0.79	0.68	0.86	0.89	0.92
南昌	0.67	0.62	0.62	0.54	0.58	0.60	0.72	0.65	0.70	0.76	0.76	0.64
赣州	0.78	0.77	0.81	0.64	0.64	0.64	0.60	0.52	0.59	0.73	0.79	0.73
邵武	0.61	0.67	0.71	0.56	0.58	0.61	0.60	0.41	0.47	0.79	0.79	0.70
福州	0.77	0.77	0.77	0.68	0.64	0.67	0.65	0.82	0.55	0.57	0.57	0.58

表2 分级降雨的整体TS评分(WTS)比较

	3月						7月					
	24小时预报			48小时预报			24小时预报			48小时预报		
	A-K	Grell	Betts	A-K	Grell	Betts	A-K	Grell	Betts	A-K	Grell	Betts
有/无雨	0.683	0.698	0.701	0.583	0.582	0.586	0.644	0.612	0.614	0.579	0.605	0.651
10.0mm	0.119	0.146	0.144	0.055	0.044	0.044	0.168	0.150	0.133	0.272	0.200	0.196
25.0mm	0.000	0.040	0.038	0.000	0.000	0.000	0.035	0.053	0.079	0.169	0.125	0.134
50.0mm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.038	0.000	0.000

由于7月份对流性天气较多,因此,对7月份的预报,3类深对流参数化方案之间的差异比较大,从表1可见,24和48小时预报的TS评分在所有测站上均发生了变化。相同测站之间24小时预报的TS评分差异 \geq

10%的测站多达15个,差异 $\geq 20\%$ 的测站有6个,其中3个测站的差异在30%以上。48小时预报的TS评分差别 $\geq 10\%$ 的测站也有13个,其中2个测站上的差别在20%以上。A-K方案与另两种方案比较,24小时预报

TS评分最好的测站有12个,最差有8个,48小时预报TS评分最好的测站只有2个,最差有22个;Grell方案与另两种方案比较,24小时预报TS评分最好的测站是4个,最差有15个,48小时预报TS评分最好的测站有10个,最差是9个;Betts方案与另两种方案比较,24小时预报TS评分最好的测站有11个,最差是5个,48小时预报TS评分最好的

测站有20个,最差只有4个。从3种方案的整体预报效果(见表2)来看,24小时预报整体TS评分最高的是A-K方案,Betts方案与其相当,Grell方案最差;48小时预报整体TS评分最好的是Betts方案,Grell方案次之,A-K方案最差。其中,最好、最差方案之间整体TS评分的差异24和48小时分别为3.2%和7.2%。

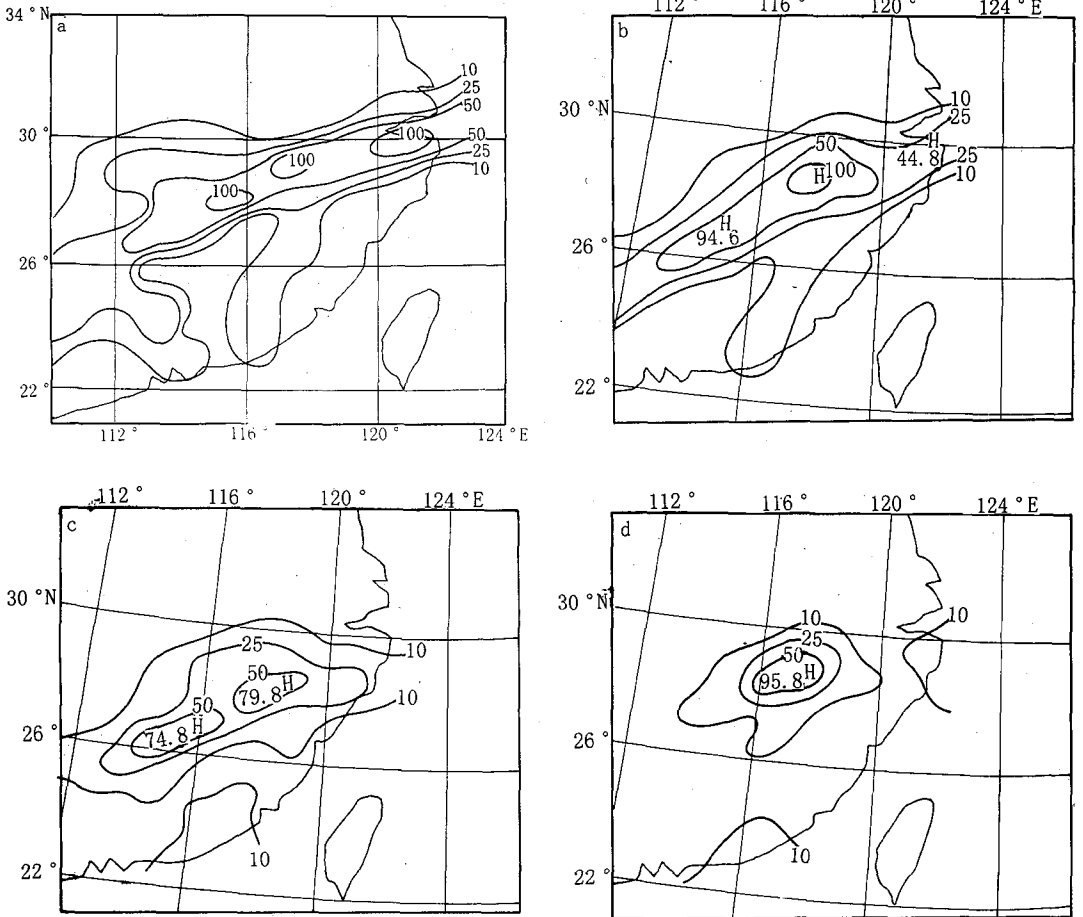


图3 1997年7月7日08时~8日08时实况和48小时预报的降雨分布(单位:mm)

a是实况,b,c,d分别是A-K、Grell和Betts方案的48小时预报

5.2 中雨以上降水的预报效果比较

从表2可以看出,3月份 $\geq 10.0\text{mm}$ 降水的整体TS评分24小时Grell方案较好,Betts方案与其相当,A-K方案较差,48小时

预报A-K方案较好,Grell和Betts方案相对较差; $\geq 25.0\text{mm}$ 降水的整体TS评分Grell和Betts方案24小时预报均优于A-K方案。对于7月份的情况, $\geq 10.0\text{mm}$ 降水的整体

TS评分,24小时和48小时预报都是A-K方案较好; $\geq 25.0\text{mm}$ 降水的整体TS评分,24小时预报Betts方案较好,Grell方案次之,A-K方案相对较差,48小时预报A-K方案较好,Betts方案次之,Grell方案相对较差; $\geq 50.0\text{mm}$ 降水的整体TS评分,24小时预报Betts方案优于A-K和Grell方案,48小时预报A-K方案优于Grell和Betts方案。总的来看,对于中雨以上的降水过程,3月份24小时预报,Grell和Betts方案较好,A-K方案较差;在7月份,对中雨预报A-K方案较好,对大雨和暴雨预报是Betts方案较好。48小时预报在3月和7月都是A-K方案较好,特别在7月份,中雨、大雨和暴雨的整体TS评分均是A-K方案最好,Grell和Betts方案相当,例如图3是1997年7月7日08时~8日08时的一次大暴雨过程,图3a是实况降水分布,图3b、c、d分别是A-K方案、Grell方案和Betts方案的48小时预报的降雨分布。从图3可以看出,A-K方案虽然没有预报出杭州湾以南的暴雨中心,但其预报的暴雨范围明显比Grell和Betts方案更接近实况,其 10.0mm 降水的范围也与实况更为一致,而且,对应景德镇附近 142.1mm 的大暴雨中心,A-K方案报出了 101.0mm ,Betts方案报出 95.8mm ,Grell方

案只报出 79.8mm ,而且位置偏东南。

6 小结

通过以上3类深对流参数化方法对1997年3月和7月华东地区降水预报影响的对比分析表明,3种方案之间存在着一定的差异,这种差异3月份较小,7月份较大。其中,对于有/无降雨的预报,24小时和48小时预报效果都是Betts方案较好;对于中雨、大雨和暴雨的预报,24小时的预报效果也是Betts方案较好,但48小时的预报效果是Anthes-Kuo方案最好。

参考文献

- 1 Georg A. Grell, Jimmy Dudhia and David R. Stauffer. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model(MM5). NCAR Technical Note, June 1994
- 2 Kuo H. L. Further studies of the parameterization of the effect of cumulus convection on large scale flow. *J. Atmos. Sci.*, 1974, 31: 1232-1240.
- 3 Anthes R. A. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, 1977, 105: 270-286
- 4 Anthes R. A., E. Y. Hsieh and Y. H. Kuo. Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). NCAR Technical Note, May 1987.
- 5 Grell G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, 1993, 121: 764-787.
- 6 Betts A. K. A New Convective Adjustment Scheme, Part II: Observational and Theoretical Basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1986, 112: 677-691.

Comparative Experiments on Precipitation Prediction with Different Deep Convective Parameterization Scheme

Gu Jianfeng

(Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030)

Abstract

The hydrostatic mesoscale model(MM5) is nested to the global spectral model of NMC. Three deep convective parameterization schemes are compared on precipitation prediction of 27 observational stations in east China in March and July 1997. It is shown that effects of different deep convective parameterization scheme on prediction quality are fairly different.

Key Words: Deep convective parameterization Precipitation prediction Comparative experiment