

文章编号: 1000-2022(2003) 05-0661-07

用雷达观测资料改进 MM5 初始场的初步试验研究

托 亚¹, 梁海河², 马淑芬², 朱福康²

(1. 国家气象中心; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要: 采用同时调整热力学和动力学变量, 并考虑湿度与温度的变化相协调的初始化方法, 引进雷达资料改善 MM5 模式的初始场。试验结果表明: 经过优化处理的初始场, 显著提高了模式对降水特别是甚短时(0~6 h)降水的落区和量的预报准确率。其中调整热力学变量对改进降水落区预报比动力学变量的调整更为重要。

关键词: 初始场; 中尺度; 热力学变量; 动力学变量; 雷达降水强度

中图分类号: P412.25 **文献标识码:** A

利用遥感探测资料进行数据同化, 是改进和优化模式初值质量, 提高中尺度模式预报能力的有效途径之一。有研究表明^[1]: 单一调整模式初始热力学场或初始动力学场的方法, 对预报的改善并不明显。Takano 等^[2]、Aonashi^[3] 采用同时调整热力学和动力学变量的初值处理技术, 即在有降水发生的格点湿度场取定常值(如 $f = 100$), 同时调整散度场的方法对降水的量级和落区预报得到一定的改善。

在实际大气中, 当 $m \leq \leq d$ 时大气处于不稳定状态, 并且有与凝结相伴的湿对流发生, 湿度的变化与温度相联系。如果在有降水区的整层湿度场取为同一常值, 则会形成与实际不符的虚假湿度场, 增大初值误差, 导致预报准确率下降。

本文对 Takano 的方法加以改进, 在物理初始优化过程中取相对湿度为温度直减率的函数, 使湿度与温度的变化相协调, 同时用一个模式外的降水方案计算降水率, 调整散度场。对我国华南地区的暴雨模拟试验结果表明: 同化后的降水预报更接近实况, 3 h、6 h 能够报出两个最大雨量中心, 尤其是对降水的中心位置、强度和范围的预报均有较大改善。

1 初始化方案

对模式初值进行优化处理时, 所采用的初始化方案包括降水方案、热力学变量调整方案和动力学变量调整方案。

1.1 初始化处理中的降水方案

在做变量调整时, 需要计算初始时刻的降水率。但是在时间积分的第一步, 模式的降水方案依赖于模式的时间步长, 不适合用来计算物理初始化处理中初始时刻的降水率。故采用以下

收稿日期: 2002-11-01; 改回日期: 2003-04-30

基金项目: 国家攀登项目(9503)

作者简介: 托 亚(1967-), 女(蒙古族), 内蒙锡盟人, 硕士, 研究方向: 资料同化。

降水方案。

该方案满足以下两个条件

(1) 在相对湿度(随温度直减率 变化) 达到“平衡态”, 即 f 为临界值 f_c (图 1) 的点上计算降水强度值。

(2) 平衡状态时的 f_c 为常值

为满足条件(1), 在有降水发生的点上, 初始时刻的 f 和 应符合

$$f = f_c ()。$$
 (1)

将 f 对时间 t 求偏导, 得 $q = f \times q_s(T)$,

$$\frac{f}{t} = \frac{1}{q_s} \{ \frac{q}{t} - f \times \frac{q_s}{T} \frac{T}{t} \}。$$
 (2)

式中, q_s 是饱和比湿, $\frac{q}{t}$ 和 $\frac{T}{t}$ 分别为比湿和温度的变化趋势。

条件(2) 要求在有降水发生区域内 $\frac{f}{t} = 0$, 而 $\frac{q}{t}$ 和 $\frac{T}{t}$ 可以写为

$$\frac{q}{t} = (\frac{q}{t})_{ADV} - \frac{Q_2}{L},$$
 (3)

$$\frac{T}{t} = (\frac{T}{t})_{ADV} + \frac{Q_1}{c_p}。$$
 (4)

此处的下标 ADV 表示对流过程, Q_1 、 Q_2 、 c_p 和 L 分别为视热源、视水汽汇、定压比热和凝结潜热, 将(3)、(4) 式代入(2) 式得到

$$Q_1 + Q_2 = L (\frac{q}{t})_{ADV} - c_p (\frac{T}{t})_{ADV}。$$
 (5)

其中, $= \frac{L}{c_p} \frac{q_s}{t} \times f$ 。

假设 Q_1 (以及 Q_2) 的垂直积分等于降水率 p_r 和 L 的乘积

$$p_r \times L = \int_t^p Q_1 \frac{dp}{g} = \int_t^p Q_2 \frac{dp}{g}。$$
 (6)

合并(4)、(6) 式得

$$p_r = \int_b^p \frac{1}{1 + } \{ (\frac{q}{t})_{ADV} - \frac{C_p}{L} (\frac{T}{t})_{ADV} \} \frac{dp}{g}。$$
 (7)

其中 为 的整层平均值。

1. 2 初始化方法

利用雷达资料调整初始场需满足以下 3 个条件:

(1) 调整的点满足降水强度值 $\geq 0.5 \text{ mm/h}$, 目的在于剔除由于噪音产生的弱的、非真实的降水影响。

(2) 调整的点位于抬升凝结高度以上至云顶之间。本文取抬升凝结高度为 900 hPa, 云顶高度为 200 hPa。

(3) 假设在抬升凝结高度到云顶之间, 由雷达资料估算的垂直方向加热率成抛物线型分布。

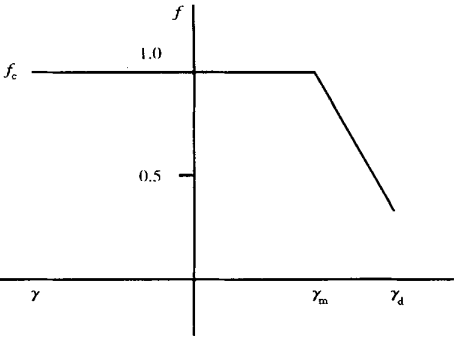


图 1 模式降水方案平衡状态
Fig.1 Schematic illustration of the equilibrium states of model precipitation scheme

1.2.1 调整热力学变量

从云底到云顶之间,对温度和湿度进行修正。在 $R(Z) < 0.5 \text{ mm/h}$ 的区域,认为无降水发生,相对湿度和温度不作调整。

当 $m \leq d$ 时

$$f = \frac{1}{d - m} \{ B_c (d -) + B_d (- m) \}。 \quad (8)$$

当 $< m$ 时

$$f = f_c; \quad (9)$$

$$q = f \times q_s(T); \quad (10)$$

$$T = T_v / (1 + q)。 \quad (11)$$

这里 $= 0.608$, d 为干绝热温度直减率, m 为湿绝热温度直减率, 为模式环境大气的温度直减率, T_v 为虚温。常数 B_c 和 B_d 取为 100 %, 50 %。

由(9)式可知,当 $< m$ 时,大气处于稳定的大尺度凝结状态,可以认为空气的相对湿度达到 100 %。当 $m \leq d$ 时,大气处于不稳定状态,并且有与凝结相伴的湿对流发生。凝结潜热在不稳定层是以使最后的温度直减率为中性来进行分布的,湿度的调整与温度的变化是相联系的,因此这样的湿度分布更接近实际大气。

1.2.2 调整动力学变量

正如(7)式所示,根据 $R(Z)$ 资料调整模式的降水率,可以改变客观分析场的温度和比湿的平流变化趋势。因此,本文将通过调整客观分析场的铅直速度来调整平流的时间变化倾向,其步骤为

(1) 在 $R(Z) \geq 0.5 \text{ mm/h}$ 区域内,由模式降水强度与雷达观测降水强度差值估算垂直速度增量。

$$R = \int_b^p \frac{1}{1 + } \left(\frac{q}{p} - \frac{c_p}{L} \frac{T}{p} \right) \frac{dp}{g}。 \quad (12)$$

其中假设

1) 在模式预报有降水区, 的垂直廓线正比于同一区域的垂直运动廓线。

2) 在模式预报无降水而观测有降水区。

当 $p_t < p < p_b$ 时

$$= A \times (p - p_t) \times (p - p_b)。 \quad (13)$$

式中 A 是常数, p_b 、 p_t 为对流云底气压和模式层顶部气压。

(2) 用连续方程从 计算散度增量 D_0

$$D_0 = \frac{1}{p}。 \quad (14)$$

(3) 散度增量的模式域积分为零,为了满足这一条件,在每一气压层上散度增量总和应为零。故修正后的散度增量是

$$D = D_0 - \frac{1}{S} \int D_{od} S。 \quad (15)$$

(4) 线性垂直内插等压面上的散度增量到模式 层上,然后将 层上的散度增量加进插值场。

(5) 用傅氏变换由插值场的散度 D 和涡度 计算风速。 D 是加进散度增量的散度。

2 模拟试验

2.1 雷达资料处理

选用华南暴雨试验区内的四部多普勒天气雷达(香港、汕头、厦门和长乐)加密观测资料,采用雷达定量估算雨强的 $R-Z$ 关系法反演了试验区内的降水强度,并由基准加密雨量计10 min的观测值,采用多点平均校准法进行了校准,经拼图和坐标转换等处理,形成了 $900\text{ km}\times 920\text{ km}$ 的网格区域,最粗分辨率为 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ (图略)。

2.2 试验设计

试验个例取1998年6月9日0000 UTC始广东和福建地区出现的一次暴雨过程(图2)。MM5模式物理过程包括积云对流参数化、高分辨率边界层方案、时变边界条件等。试验区域为 $105\sim 128\text{ E}$, $16\sim 32\text{ N}$ 。模拟中使用了 $30'\times 30'$ 的地形资料,背景场为T106分析资料,分析中使用了常规地面和探空资料。模式水平网格为 121×121 ,格距为 15 km ,垂直23层。表1给出12 h的控制试验和三个试验方案模拟设计。

表 1 过程的数值模拟方案设计
Table 1 Numerical experiment scheme design

	调整热力学变量	调整动力学变量	整层辐散为零
控制试验	无	无	有
试验二	有	有	有
试验三	有	无	有
试验四	无	有	有

2.3 控制试验与试验二结果分析

为了说明温度、湿度及散度场调整同化后对预报结果的影响,将试验二(同化)和控制试验(未同化)的结果进行对比分析。

(1) 3 h 预报: 同化前(图略)香港和广州附近的两个降水中心没有预报出来,同化后(图略)雨带分布与实况基本一致,最大雨量(84.8 mm)中心出现在广州东部。

(2) 6 h 预报: 同化前(图3)最大雨量中心位于梧州附近,中心强度为 89.8 mm ,比实况偏小约 28 mm ,澳门附近降水(136 mm)中心没有报出来。同化后(图4)无论是对降水量还是位置的预报都有明显提高,预报出两个最大雨量中心,位置与实况接近,中心强度分别为 98.2 mm 和 129 mm 。

(3) 12 h 预报: 同化前(图略)预报梧州附近雨量为 102 mm ,较实况偏小约 20 mm ,6 h、12 h 部位均偏东偏北。澳门附近的暴雨中心(146 mm)没有报出,同化后(图略)梧州附近雨量提高了 90 mm 。预报最大雨量中心位于澳门东北部,强度为 138 mm ,接近实况。

与实际观测相比,同化后的降水预报更接近实况。控制试验对暴雨的落区以及雨量预报误差较大,同时在预报较早时段3 h、6 h对最大雨量中心预报失败。试验二在这两方面均有改善,3 h、6 h能够报出两个最大雨量中心,由于实测降水为某一点的观测值,而模拟降水为区域平均值,通常后者的最大值小于前者。总之,试验二对甚短时降水预报,尤其是对降水的中心位置、强度和范围的预报均有较大改善,同化后的降水预报效果明显优于同化前。

2.4 初始化的影响

以下进一步分析单一调整热力学变量或动

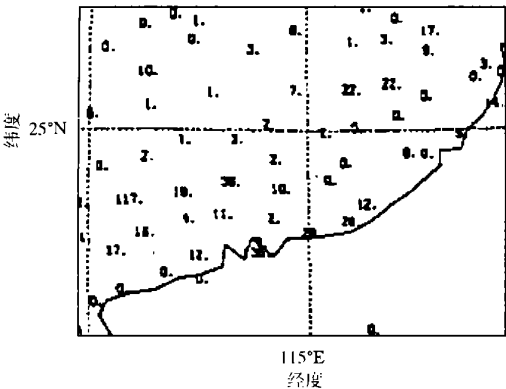


图 2 1998 年 6 月 9 日 0000 UTC 观测的 6 h 降水量分布(单位: mm)

Fig. 2 The distribution of 6-h rainfall observed at 0000 UTC, 7 June 1998(units: mm)

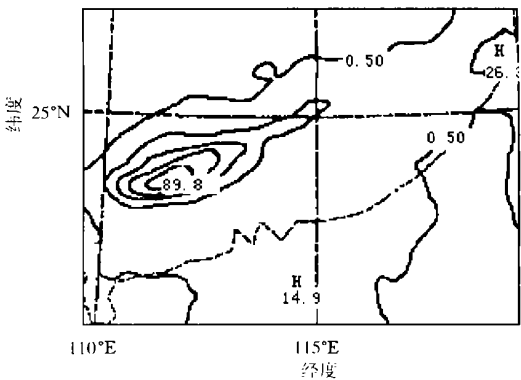


图 3 同化前预报的 1998 年 6 月 9 日 0000 UTC 6 h 降水量分布(等值线间隔: 20 mm)

Fig. 3 The distribution of 6-h rainfall predicted (before assimilation) at 0000 UTC, 9 June 1998(interval: 20 mm)

力学变量对模式甚短期预报水平的影响。图 5 给出初始场网格点 A(52, 75)、B(84, 58) 分别在试验二和试验四中 f 的垂直分布情况。A 点是模式预报有降水且观测实况也有降水的情况, B 点是模式预报无降水而实况有降水的情况。比较发现: (1) 在 B 点, 从 900 hPa 到 200 hPa 高度层上, 试验二的初始湿度场比试验四更接近饱和。(2) 在 A 点试验四和试验二的初始 f 值随高度的变化基本一致, 均接近饱和。

图 6 是初始时刻 A、B 两点分别在试验二、试验三、试验四中速度 的垂直分布。由图可见 A、B 两点垂直速度的分布有很大差异: (1) 当实况有降水 (≥ 0.5 mm) 且模式预报有降水时 (A), 仅调整湿度场会使上升运动偏大; (2) 当实况有降水 (≥ 0.5 mm) 而模式预报无降水发生时 (B), 仅调整湿度场则维持较弱的垂直上升运动, 甚至出现下沉运动。说明调整动力学变量对垂直运动的影响较大。由此可见, 单一调整动力学或热力学变量得到初值场均不能反映大气的真实状态。

试验三预报结果:

- (1) 3 h、6 h、9 h 及 12 h 雨带分布与实况接近。
- (2) 3 h (图略) 最大雨量(97.8 mm) 出现在香港附近, 较实况大 27.8 mm。
- (3) 6 h (图略) 最大雨量中心在汕尾北部, 强度为 146 mm。另一个中心在广州附近, 强度为 100 mm, 中心位置偏东, 雨量偏大。

试验四预报结果:

- (1) 3 h、6 h、9 h、12 h 雨带分布与实况有较大差异。

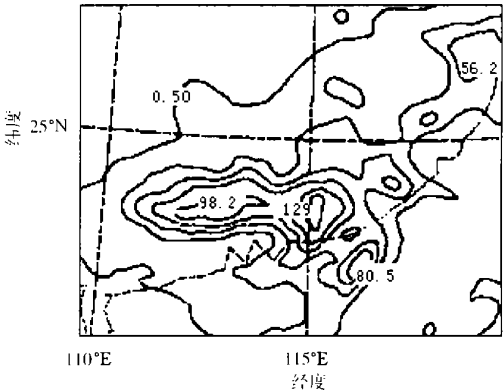


图 4 同化后预报的 1998 年 6 月 9 日 0000 UTC 6 h 降水量分布(等值线间隔: 20 mm)

Fig. 4 The distribution of 6-h rainfall predicted after assimilation at 0000 UTC, 9 June 1998(interval: 20 mm)

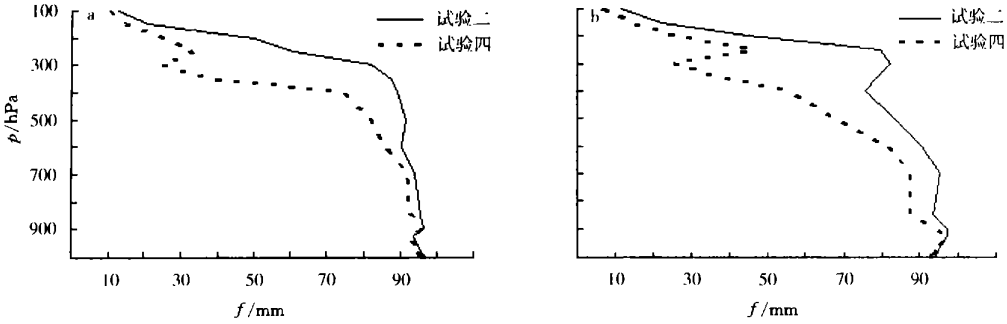


图 5 f 垂直分布 a. A 点, b. B 点

Fig. 5 Vertical profiles of f at points A (a) and B (b)

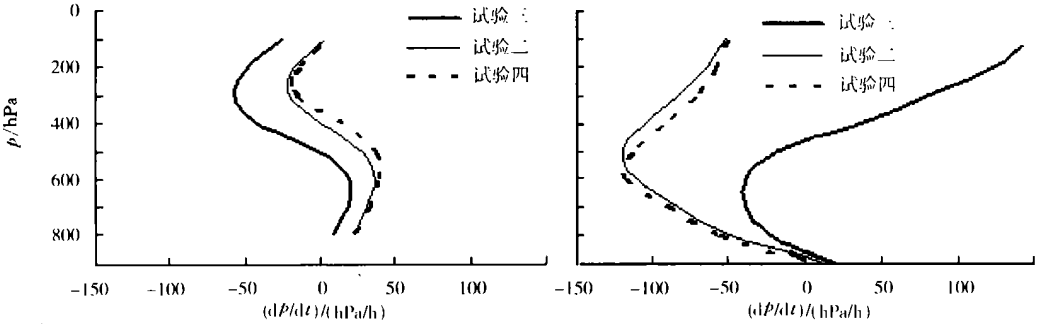


图 6 垂直分布 a. A 点, b. B 点

Fig. 6 Vertical profile of $(dP/dt)/(hPa/h)$ at points A (a) and B (b)

(2) 3 h (图略) 最大雨量为 57.4 mm 中心在梧州以东。香港、澳门附近有 20 mm 的降水, 但无闭合中心。

(3) 6 h (图略) 预报同一地区最大雨量为 113 mm, 而澳门附近 136 mm 的暴雨中心没有预报出来。

以上分析表明: 试验三在降水的落区预报上较试验四更接近实况, 而试验四与试验三的预报结果均比试验二误差大。

3 结论和讨论

采用本文的初始化方法, 优化后的初始场能够更详细、客观地描述暴雨中尺度系统特征, 对未来中尺度的发展和演变产生积极影响, 由个例试验得到的结论为:

- (1) 调整热力学变量改善温度、湿度场是减小降水落区误差的主要原因。
- (2) 调整动力学变量会影响初始水平风场的分布, 从而影响最初几小时降水量预报的准确率。
- (3) 在初始化中, 热力学变量的调整比动力学变量的调整更为重要。
- (4) 在其他模拟条件不变的情况下, 初值质量对暴雨中尺度系统结构与演变以及降雨量的模拟结果有决定性影响。

存在的问题: 首先由于现有的雷达网站分布在少数地区, 同时没有足够的自动雨量站网的资料, 模式能够初始化的区域有限。其次, 前面所提到的初始化方法均采用假设的垂直加热廓

线, 因此进一步提高大气探测手段, 获得更真实的大气垂直运动廓线, 同时发展利用各种非常规遥感探测资料的同化技术, 提高中尺度数值模式的预报水平, 尤其是对短期、甚短期的预报水平的提高依然很重要。

参考文献:

- [1] Ninomiya K, Kurihara K. Forecast experiment of a long-lived meso- α -scale convective system in Baiu frontal zone[J]. J Meteor Soc, 1987, 65(3): 885-899.
- [2] Takano I, Segami A. Assimilation and initialization of a mesoscale model for improved spinup of precipitation[J]. J Meteor Soc, 1993, 71(3): 377-391.
- [3] Aonashi K. An initialization method to incorporate precipitation data into a mesoscale numerical weather prediction model[J]. J Meteor Soc, 1993, 71(3): 393-406.

A Preliminary Research on Improving MM5 Initial Fields Using Radar Data

TUO Ya¹, LIANG Hai-he², MA Shu-fen², ZHU Fu-kang²

(1. National Meteorological Center; 2. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: The initial fields of MM5 are improved in this paper by adopting an initialization scheme of simultaneously adjusting thermodynamic and dynamic variables and coordinating humidity and temperature changes, and by assimilating $R-Z$ data into the initial field. Experimental results show that the improved initialization of MM5 can raise the forecast accuracy of precipitation location and rainfall, especially of 0~6 h, and the thermodynamic variable adjustment is more important than the dynamic variable adjustment in improving the forecast of precipitation location.

Key words: initial fields; mesoscale; thermodynamic variable; dynamical variable; radar rainfall data