

## 分析初值对暴雨数值预报影响的试验\*

朱宗申 郑国安  
(国家气象中心,北京 100081)

### 提 要

使用统计插值方案,对1990年11月7—9日和1991年7月27—29日两次暴雨过程,形成几种不同资料来源和水平分辨率的客观分析初值。通过三重网格预报模式嵌套计算,探讨初值给予我国东部地区48小时暴雨数值预报的影响。

关键词:分析初值;暴雨数值预报;三重网格嵌套。

### 1 引 言

国家气象中心于1992年3月15日建成了一个新的有限区分析、预报业务系统<sup>[1]</sup>,为我国业务降水预报提供改进的数值技术指导产品。该系统分析和预报模式的水平分辨率均是 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ 经纬度。为提高该系统暴雨预报能力,最近进行了增加模式水平分辨率的试验,获得了较好的结果<sup>[2]</sup>。近年来,一些先进国家开始使用区域资料同化系统来获得高质量的预报模式初值<sup>[3,4]</sup>。在我国现有条件下,采用什么方法为高分辨率模式提供初值,以及不同初值对暴雨数值预报的影响,所作的试验研究还比较少。本文对1990年11月7—9日的长江中下游地区暴雨过程和1991年7月27—29日的华北、东北地区暴雨过程,用一个较高分辨率的客观分析方案,获得几种不同类型的模式初值,并通过三重网格预报模式作嵌套计算,探讨分析初值对于暴雨数值预报的影响。

### 2 客观分析方案

采用与国家气象中心新有限区分析方案<sup>[5]</sup>基本相同的统计插值方法,但考虑分析区域和网格分辨率时更加灵活和方便。

统计插值分析方程为:

$$A_i^* = A_i^c + \sum_{n=1}^N W_n \frac{E_n^f}{E_n^c} (A_n^c - A_n^f) \quad (1)$$

1992年3月23日收到,7月24日收到修改稿。

\* 本项工作由中国气象科学研究院强风暴开放实验室和85-906-03课题部分资助。

式中  $A$  表示分析变量, 分别为位势高度、纬向风速、经向风速和相对湿度;  $W$  是每个观测的分析权重, 为待定系数;  $E$  是估值均方根误差;  $a, g, o$  分别表示分析值、初估值和观测值; 下标  $k, n$  分别表示分析网格点和观测点;  $N$  是用于分析的观测数。

在总体平均统计插值分析误差最小情况下, 由式(1)得到求解分析权重  $W$  的  $N$  个线性方程:

$$\sum_{m=1}^N (\mu_{mn} + \epsilon_m^o \eta_{mn} \epsilon_n^o) W_{km} = \mu_{kn} \quad (n = 1, N) \quad (2)$$

式中  $\mu$  和  $\eta$  分别表示初估值误差相关和观测误差相关,  $\epsilon$  表示规一化观测误差 ( $\epsilon^o = E^o/E^s$ ),  $m$  和  $n$  表示观测点, 其它符号说明同式(1)。

初估值和观测的误差  $E$ 、误差相关  $\mu$  和  $\eta$  的计算与文献[5]相同, 观测资料取自国家气象中心存档要素库资料, 初估值由国家气象中心中期数值预报系统的 T 42L9 全球谱模式(三角截断球谐函数波数为 42、垂直分层为 9 层)的 12 小时预报存档资料插值得到。高度和风向为三维多变量分析, 分析其中某一要素可以同时使用高度、风和厚度资料, 在 1000—50hPa 12 层标准等压面上进行; 相对湿度为三维单变量分析, 在 1000—300hPa 6 层标准等压面上分析。由公式(2) 计算得到权重  $W$  后, 即由式(1)求得网格点的分析值。

### 3 预报模式方案

采用三重网格预报模式嵌套, 进行暴雨预报效果对比试验。最外网格的预报模式是采用 T 42L9 半球谱模式(其框架和物理过程可参见文献[6, 7]) 用于提供侧边界条件。中间和最内网格的预报模式是同类区域预报模式<sup>[8]</sup>, 垂直分层为 15 层, 中间网格的水平分辨率为  $1.875^\circ \times 1.875^\circ$  经纬度(简称为有限区预报模式), 最内网格的水平分辨率分别采用中间网格的 1/2、1/3 或 1/4(以下简称高分辨率预报模式)。下面简略介绍制作暴雨预报的高分辨率模式的主要特点。

模式的垂直结构采用  $\sigma$  坐标:

$$\sigma = \frac{p}{p_s} \quad (3)$$

模式的基本方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{\cos\theta} Z p, v \cos\theta + \frac{1}{a \cos\theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\Phi + E) + \frac{RT}{a \cos\theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\ln p_s) + \sigma \frac{\partial u}{\partial \sigma} &= F_u + D_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + Z p, u + \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \theta} (\Phi + E) + \frac{RT}{a} \frac{\partial}{\partial \theta} (\ln p_s) + \sigma \frac{\partial v}{\partial \sigma} &= F_v + D_v \\ \frac{\partial p_s}{\partial t} + \frac{1}{a \cos\theta} \left\{ \frac{\partial}{\partial \lambda} (p_s u) + \frac{\partial}{\partial \theta} (p_s v \cos\theta) \right\} + \frac{\partial}{\partial \sigma} (p_s \sigma) &= 0 \\ \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{p_s} \left\{ \frac{1}{a \cos\theta} (p_s u \frac{\partial q}{\partial \lambda} + p_s v \cos\theta \frac{\partial q}{\partial \theta}) + p_s \sigma \frac{\partial q}{\partial \sigma} \right\} &= S + D_q \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{p_s} \left\{ \frac{1}{a \cos\theta} (p_s u \frac{\partial T}{\partial \lambda} + p_s v \cos\theta \frac{\partial T}{\partial \theta}) + p_s \sigma \frac{\partial T}{\partial \sigma} - \frac{\kappa T \omega}{\sigma} \right\} &= Q + D_T \\ \frac{\partial \Phi}{\partial t} &= -RT \end{aligned} \quad (4)$$

式中,  $Z$  是绝对位涡度

$$Z = \frac{1}{p_s} \left\{ f + \frac{1}{a \cos \theta} \left[ \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{\partial}{\partial \theta} (u \cos \theta) \right] \right\} \quad (5)$$

$E$  是单位质量的动能:

$$E = \frac{1}{2} \left[ u^2 + \frac{1}{\cos^2 \theta} (v^2 \cos^2 \theta) \right] \quad (6)$$

$F_u$ 、 $F_v$  为摩擦项,  $Q$  为非绝热加热项,  $S$  为水汽源和汇,  $D_x$ 、 $D_y$ 、 $D_q$ 、 $D_T$  表示水平扩散, 其它符号的意义与习惯使用相同。

模式主要物理过程包括大尺度凝结和蒸发过程, 积云对流参数化, 动量的垂直输送和水平扩散。模式地形采用平滑真实地形, 由  $1^\circ \times 1^\circ$  经纬度地形资料双线性插值得到。有限区和高分辨率模式的侧边界, 均采用单向 Davies 边界方法, 并利用变量倾向值的嵌套方案<sup>[1]</sup>。

## 4 对比试验

用 1990 年 11 月 7—9 日和 1991 年 7 月 27—29 日我国东部地区两次暴雨过程进行试验。分别以两次过程的第一天作为初始时刻。试验步骤如下:

首先, 在初始时刻前 12 小时, 利用国家气象中心中期数值预报系统的分析资料进行半球谱模式的 60 小时预报。自预报 12 小时(初始时刻)起, 每间隔 3 小时为有限区预报模式提供一次侧边界条件。接着, 利用国家气象中心有限区分析、预报系统的方案, 进行客观分析和 48 小时预报。同样从初始时刻起, 每 3 小时一次为高分辨率预报模式提供侧边界条件。然后, 选取国家气象中心存档的要素库有关资料, 使用上述客观分析方案, 计算获得一组与高分辨率预报模式相同区域、相同水平分辨率的初值; 此外, 还将有限区预报模式的初值, 用双线性插值得到另一组高分辨率预报模式的初值。最后, 用这些初值制作高分辨率预报模式 48 小时预报, 加于分析比较。

### 4.1 实例一(1990 年 11 月 7—9 日)

这是一次冷锋、气旋发展的降水过程。11 月 7 日前, 500hPa 东亚中纬度地区环流比较平直。7—9 日, 有低槽自巴尔喀什湖地区东移, 迅速加深, 最后在东亚沿岸发展成深槽, 造成我国大部地区一次较强的冷空气活动。在高空西南气流之下的对流层低层, 有切变和倒槽自我国西南地区向东伸展, 冷空气进入倒槽后, 在长江中下游地区有气旋生成和发展。7—9 日, 我国华北南部至江南的广大地区出现大范围的降水过程, 暴雨主要位于江南北部地区。

#### 4.1.1 初值形成方案

表 1 给出参加试验的不同模式初值方案(包括有限区预报模式方案)的主要参数。

#### 4.1.2 试验结果

各种方案的 24 小时和 48 小时形势预报的差异较小, 均比较成功地预报出一个长江气旋发展和东移出海加强的过程。但从降水预报与实况对照可以发现: 24 小时高分辨率

表1 实例一试验的各种模式初值方案的主要参数

方案	应用资料	初值形成方法	模式水平分辨率 (经纬度)	区域	水平格点数
A1	探空、地面、 卫星、飞机	高分辨率网格 OI*分析	0.625×0.625	15.0°-41.25°N 105.0°-131.25°E	43×43
A2	探空	高分辨率网格 OI*分析	0.625×0.625	15.0°-41.25°N 105.0°-131.25°E	43×43
B	探空、地面、 卫星、飞机	有限区域网格 OI*分析插值	0.625×0.625	15.0°-41.25°N 105.0°-131.25°E	43×43
C	探空、地面、 卫星、飞机	有限区域网格 OI*分析	1.875×1.875	15.0°-63.75°N 69.375°-144.375°E	27×41

\*OI表示统计偏差(最优偏差)

网格预报的结果较粗网格C方案好,特别雨带走向,应用多种资料的A1和B方案更为明显(图略)。由图1可见三种细网格(A1、A2、B)48小时的强降雨预报很相似,除江南西部暴雨区过于偏西外,和实况相当吻合,而粗网格(C)预报明显偏北和偏弱;另外,方案B和C在台湾或东部洋面有较强暴雨中心,而高分辨率客观分析方案A1和A2却没有,从卫星云图和地面资料分析,这些地区似乎没有如此强的降水。

#### 4.2 实例二(1991年7月27-29日)

这是一次冷锋气旋造成的较强降水过程。27日起,一股冷空气从贝加尔湖东南下,先后影响我国华北、东北地区,并有蒙古低压发展,在对流层低层河套地区有低值系统伴随冷空气东移;28日蒙古低压减弱,华北南部有再生气旋生成、发展;29日后气旋移至东北地区。在我国北方的东部地区出现较强的降雨。

##### 4.2.1 初值形成方案

表2给出不同初值方案的主要参数。其中,包括两种不同水平分辨率和区域的高分辨率网格分析。为了分析初估场的影响,在形成后一种高分辨率分析初值时,增加用实况分析作为初估场的计算。

表2 实例二试验的各种模式初值方案的主要参数

方案	应用资料	初值形成方式	模式水平分辨率 (经纬度)	区域	水平格点数	初估场
A1	探空、地面、 卫星、飞机	高分辨率网格 OI分析	0.46875×0.46875	30.0°-50.625°N 105.0°-129.375°E	2385(45×53)	全球模式预报
B1	探空、地面、 卫星、飞机	有限区域OI 分析插值	0.46875×0.46875	30.0°-50.625°N 105.0°-129.375°E	2385(45×53)	全球模式预报
A21A	探空、地面、 卫星、飞机	高分辨率网格 OI分析	0.9375×0.9375	20.625°-60.0°N 86.25°-136.875°E	2365(43×55)	全球模式预报
A21B	探空、地面、 卫星、飞机	高分辨率网格 OI分析	0.9375×0.9375	20.625°-60.0°N 86.25°-136.875°E	2365(43×55)	实况分析
A22	探空	高分辨率网格 OI分析	0.9375×0.9375	20.625°-60.0°N 86.25°-136.875°E	2365(43×55)	全球模式预报
B2	探空、地面、 卫星、飞机	有限区域OI 分析插值	0.9375×0.9375	20.625°-60.0°N 86.25°-136.875°E	2365(43×55)	全球模式预报
C	探空、地面、 卫星、飞机	有限区域OI 分析插值	1.875×1.875	15.0°-63.75°N 69.375°-144.375°E	1107(27×41)	全球模式预报

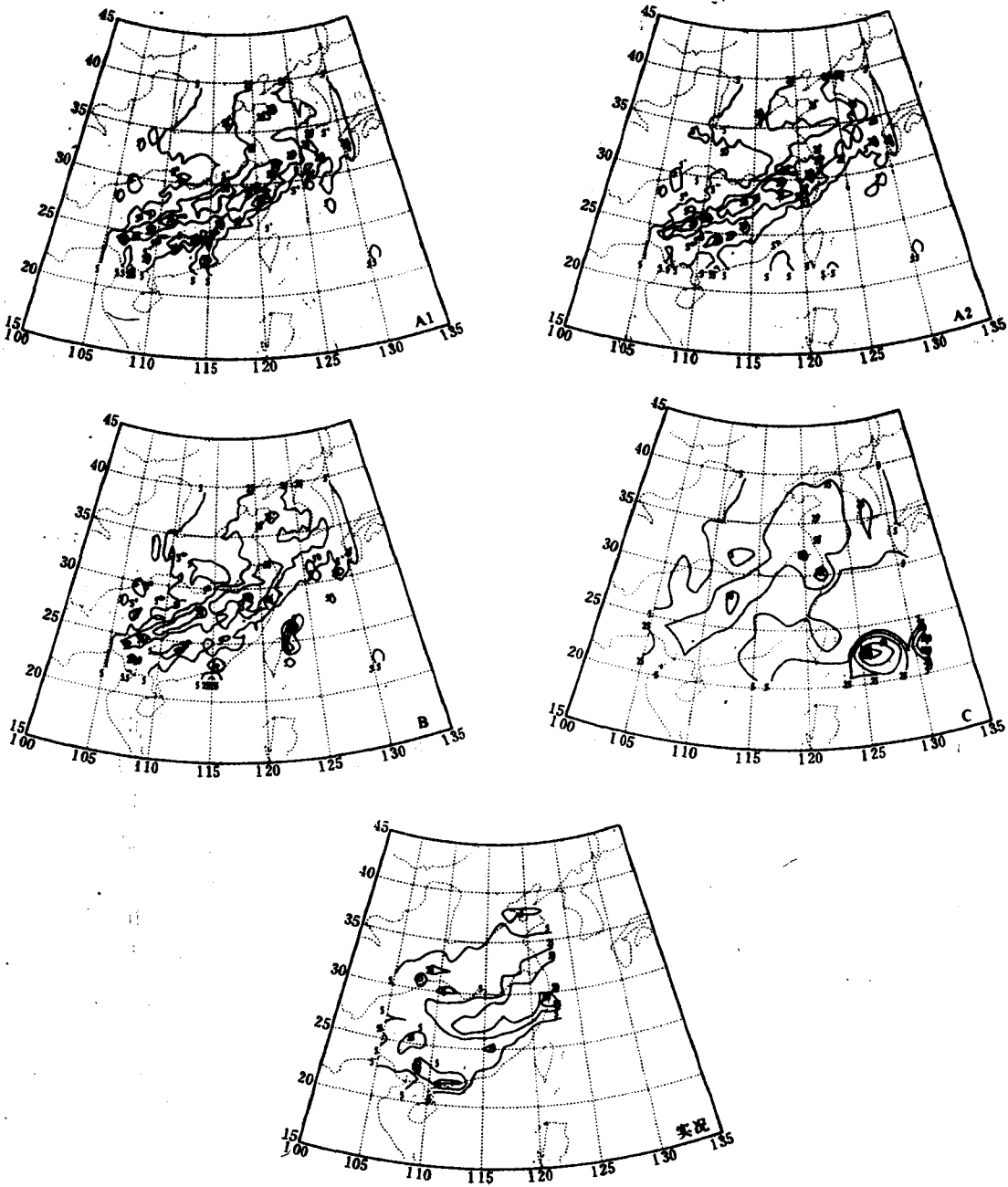


图1 1990年11月7日方案A1、A2、B、C的48小时  
(8—9日)降水预报、实况(等值线单位:mm)

#### 4.2.2 试验结果

所有方案的24小时预报,在我国华北、东北地区有两个主要降雨中心(图略),实况仅一个,位于北京附近。预报的降雨中心位置较实况偏西、偏北,分辨率最高的A1方案的预报结果稍有改善。

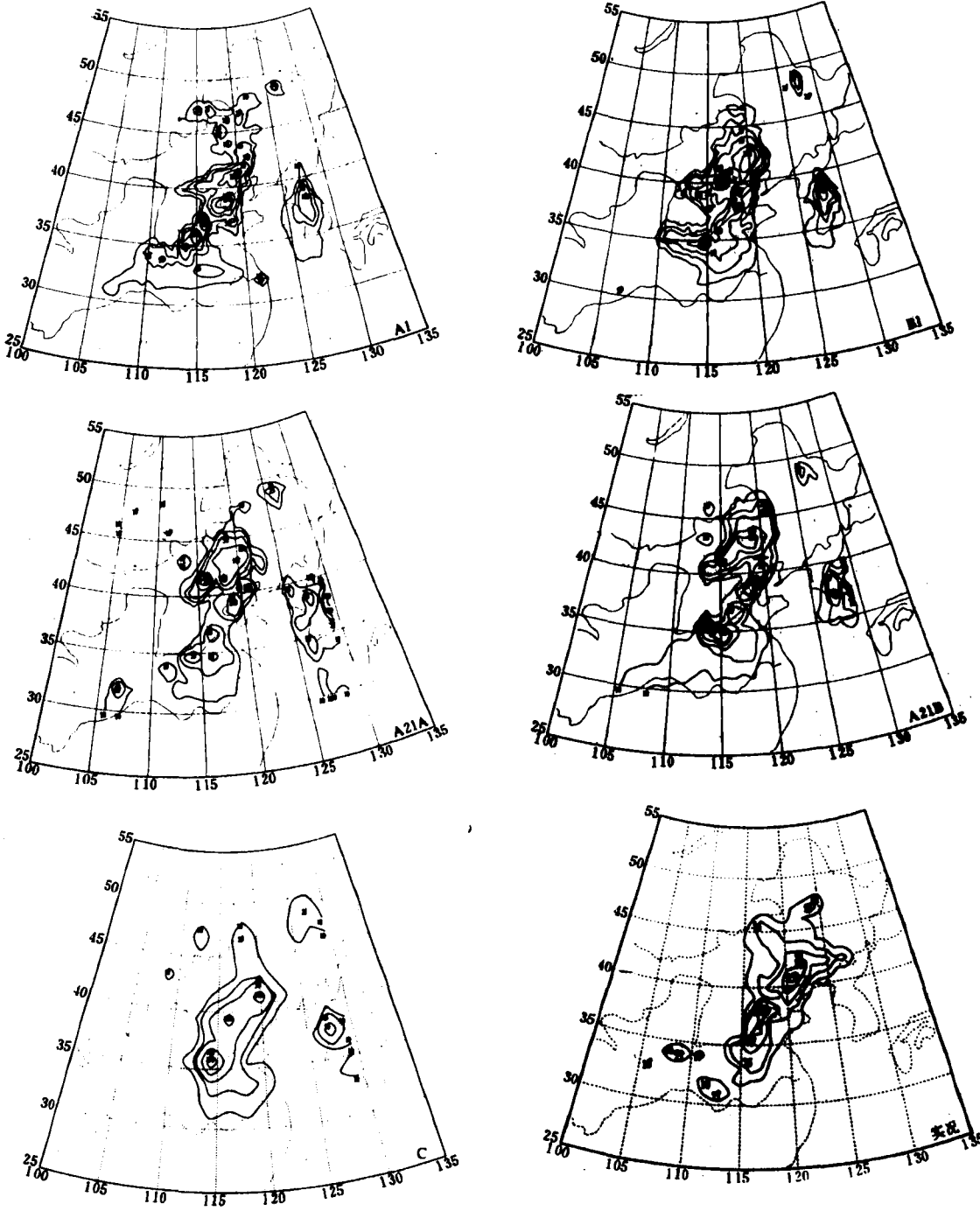


图2 1991年7月27日方案A1、B1、A21A、A21B、C的  
48小时降水预报和实况(单位:mm)

从48小时降水预报图(图2)可以看到,A1方案给出的雨带位置和强度的预报与实况最接近;B1方案也获得和A1方案相近的结果;粗网格有限区模式的预报(方案C)则明

显差于其它方案(除方案 A22)。提高预报模式分辨率对暴雨预报的改进,在这个实例中同样得到清楚的反映。

在实例二的 A1、B1 方案和实例一的 A1、B 方案中,高分辨率区域的东、西、南、北距离仅 2 至 3 千公里。因此,较粗网格区域的分析和预报结果,可以通过侧边界在预报后期影响到高分辨率区域内暴雨区。为了尽可能减少外部粗网格的影响,更好对比高分辨率分析初值和由较粗网格分析插值形成的细网格初值自身对暴雨预报的影响,因此,在试验中, A21A、A21B、A22、B2 方案的高分辨率分析、预报区域的宽度明显增大了(见表 2)。此时,从图 2 可以看到,方案 A21A、A21B 的 48 小时雨带和暴雨强度的预报比较接近分辨率最高的 A1 方案的预报结果,比用粗网格初值双线性插值的 B2 方案预报有明显的改进;使用较好初估场的 A21B 方案更有改进。值得注意的,仅仅使用探空资料的 A22 方案的预报(图略)和实况存在显著的差异,在某些方面甚至不如粗网格 C 方案的预报。这可能是由于在分析区域探空观测资料很少(仅 54 个观测),缺乏来自对流层低层的信息而造成的。而 A21A、A21B 方案使用主要包括地面观测在内的大量资料(共 437 个),弥补了对流层底层探空资料的不足,为低层模式大气提供较为真实的状况,预报得到较大改进。

## 5 小 结

在目前国家气象中心数值预报业务系统和资料条件下,选用 1990 年 11 月 7—9 日和 1991 年 7 月 27—29 日的两次暴雨过程,对不同资料来源和水平分辨率的几种模式初值给予我国东部地区 48 小时暴雨预报的影响进行对比试验。试验结果表明:

(1) 预报模式分辨率的提高,对于改进暴雨预报的效果有着重要的作用。

(2) 采用多重网格嵌套预报时,最内的高分辨率网格预报区域通常比较小,使用高分辨率分析初值对暴雨预报特别对预报后期的改进不明显;适当扩大高分辨率分析区域,则可以改善预报效果。

(3) 对于自西移入我国东部地区的天气系统,使用目前这些地区的观测资料,可获得比较好的短期大范围暴雨预报的结果。

(4) 由于 1000hPa 探空资料比较少,因此,地面观测资料的应用,对于改善对流层低层模式的初值、提高暴雨预报能力很重要。开发利用探空 925hPa 的资料和特性层资料,可望进一步改善目前的预报效果。另外,提高客观分析初估场的质量,也将是提高模式初值质量的另一重要途径。

## 参 考 文 献

- 1 郭肖容、郑国文、朱宗申等. 一个新的有限区分析预报系统. 〈中期数值天气预报研究〉成果汇编(三), 北京: 气象出版社, 1990. 88—107.
- 2 郑国安、郭肖容. 一个三重嵌套的高分辨率模式设计及暴雨个例模拟试验(国家强风暴论文集), 北京: 气象出版社, 1992. 5. 213—232.
- 3 Mills, G. A., R. S. Seman. The BMRC Regional Data Assimilation System. *Mon. Wea. Rev.*, 1990, **118**: 1217—1237.
- 4 Bell, R. S.. The Meteorological Office Fine-mesh Data Assimilation Scheme. *Meteorological Magazine*, 1986.

- 115: 161—177.
- 5 朱宗申、汪厚君、张跃堂. 国家气象中心准业务有限区分析方案. 应用气象学报, 1992, 3(4): 459—467
  - 6 皇甫雪官. 中期数值预报绝热潜模式的数值试验. 〈中期数值天气预报研究〉成果汇编(一), 北京: 气象出版社, 1990. 107—138.
  - 7 乌元康、王超、张小礼等. 中期数值预报试验系统中物理过程参数化的引进与开发. 〈中期数值天气预报研究〉成果汇编(二), 北京: 气象出版社, 1990. 1—11.
  - 8 张玉玲、郭肖容、闫之辉等. 十层有限区细网格模式的试验研究. 〈中期数值天气预报研究〉成果汇编(一). 北京: 气象出版社, 1990. 152—168.

## EXPERIMENTS OF INITIAL VALUES EFFECT ON NUMERICAL WEATHER FORECAST FOR HEAVY RAIN

Zhu Zongshen      Zheng Guoan

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

In basis of statistical interpolation, the objective analysis initial values from different data sources and horizontal resolutions have been obtained by using the two heavy rain processes during 7—9 November of 1990 and 27—29 July 1991. The influence of these initial values on the 48-hour heavy rain forecast in the eastern China has been discussed by using the numerical simulation of triple nested grid model.

**Key words:** Initial values; Heavy rain numerical forecast; Triple nested grid model.