

有限区数值预报产品的强 降水动力释用试验

夏建国

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

给出了利用有限区数值预报产品进行强降水动力释用预报试验的要点及试验结果。首先将模式开始运行后获得的最新观测资料(00—06GMT6小时降水量或雷达资料)输入计算机,并推算出相应的降水强度,再以降水强度公式近似计算其垂直速度,然后以有限区数值模式提供的风场、比湿场与垂直速度场来计算天气系统的移动及垂直速度的变化,以求出未来时刻的降水强度及6—24小时的降水量。

关键词: 有限区数值预报 强降水 动力释用

引 言

国家气象中心新的有限区业务数值预报模式采用球面坐标原始方程差分模式,垂直分辨率为15层(σ 面),水平分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ (经纬度),并采用了与 $T_{42}L_9$ 谱模式预报的单向嵌套方案。模式中引入了真实地形及较为合理的物理过程,其中包括:大尺度凝结过程、积云对流参数化、动量的垂直输送及水平扩散。1991年6月投入业务运行,从1991年9月以来才存有较为完整的有限区分析、预报的归档资料,就是说1992年汛期的有限区模式产品资料是第一个汛期的资料,在这种短样本的数值产品资料基础上难以作出较好的统计预报(MOS或PP),为此,作者进行了有限区数值产品的强降水动力释用方法的试验研究,旨在使之有可能适应计算机科学迅速发展、数值预报模式更替频繁的状况,亦提供有参考价值的天气要素预报。

1 强降水动力释用方案

以有限区模式运行结束后获得的最新观测资料[00—06时(GMT)的6小时降水量($\geq 10\text{mm}$)],推算出相应的降水强度与垂直速

度,并用它来修正数值模式的垂直速度预报场的有关格点,再近似计算未来6—24小时的降水强度及各个6小时时段的降水量。

$$R = \frac{R_6}{(RTIME \times 3600 \times RATE)} \quad (1)$$

式中 R 为降水强度($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$); R_6 为6小时雨量, $\geq 10(\text{mm})$; $RTIME$ 为降水时间,系试验参数,现以1.5小时作试验;3600为1小时=3600秒; $RATE(=10)$ 为水汽与降水量的比率,1g水汽能产生10mm的降水量(在 1cm^2 面积上,单位: $\text{mm} \cdot \text{g}^{-1}$)。

由降水强度公式:

$$R \approx \frac{1}{g} \int_{P_s}^0 \nabla \cdot (\vec{V}q) dP \quad (2)$$

可知,其右边可化为两项之和:

$$R \approx \frac{1}{g} \int_{P_s}^0 \vec{V} \cdot \nabla q dP + \frac{1}{g} \int_{P_s}^0 q \nabla \cdot \vec{V} dP \quad (3)$$

式中 P_s 为地面气压; q 为比湿。

为了简化计算,略去500hPa以上气柱中的水汽(约为10%)对降水强度的贡献,则(3)式的积分上限可写为500hPa,右边第一项为比湿平流项,第二项为湿空气辐合项。利用连

续方程,湿空气辐合项可表示为^[1]:

$$\frac{1}{g} \int_{p_t}^{500} q \nabla \cdot \vec{V} dp \approx -\frac{1}{g} \bar{q} \omega_{500} \quad (4)$$

于是,降水强度 R 可表示为:

$$R \approx \frac{1}{g} \int_{p_t}^{500} \vec{V} \cdot \nabla q dp - \frac{1}{g} \bar{q} \omega_{500} \quad (5)$$

$$\text{令 } VQ \approx \frac{1}{g} \int_{p_t}^{500} \vec{V} \cdot \nabla q dp \quad (6)$$

$$\omega_{R3} = \omega_{500} \quad (7)$$

$$\omega_{R3} = -(R - \dot{V}Q)g/\bar{q} \quad (8)$$

ω_{R3} 即为由6小时雨量推算出的垂直速度,以资料时间后3小时的垂直速度代表0—6小时的平均值。 ω_{R3} 可当作一个具有此垂直速度的天气系统来处理,它会移动,但其移动的方向与速度不取决于它所在格点的 u, v , 而是决定于环境风场。 ω_{R3} 的移动与环境风场的关系可能比较复杂,但作为近似暂且当作线性问题来处理。由于系统移动速度的变化,主要取决于环境风场的变化,故以不同时效的数值预报的风场近似代替环境风场。首先以数值预报的500hPa 的风场作单层引导试验,将模式预报的不同时效的 u, v, ω 场分别从 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 插到 $1^\circ \times 1^\circ$ (经纬度) 的格点上,然后,求空间平均(5点)及时间内插。

即:

$$\bar{u}^5 = \bar{u}_0^5 + (\bar{u}_{24}^5 - \bar{u}_0^5) \times ti/24 \quad (9)$$

$$\bar{v}^5 = \bar{v}_0^5 + (\bar{v}_{24}^5 - \bar{v}_0^5) \times ti/24 \quad (10)$$

$\bar{u}_0^5, \bar{u}_{24}^5, \bar{v}_0^5, \bar{v}_{24}^5$ 分别代表预报时效为0与24小时的 u, v 分量的5点平均值, ti 为时间内插的小时数,分别取为3、9、15、21。

下面来求由预报风场得到的 $\bar{u}^5$ 及 $\bar{v}^5$ 引导 ω_{R3} 的移动距离及格距。

$$\Delta i_u = \bar{u}^5 \Delta t / \Delta x \quad (11)$$

$$\Delta x = 2 \times 3.14159 \times 6371$$

$$\times 1000 \times \cos \varphi \times \Delta \lambda / 360$$

式中 $\Delta \lambda = 1^\circ$ 经度, φ = 所在纬度。

$$\Delta j_v = -\bar{v}^5 \times \Delta t / \Delta y \quad (12)$$

$$\Delta y = 2 \times 3.14159$$

$$\times 6371 \times 1000 \times \Delta \varphi / 360$$

式中 $\Delta \varphi = 1^\circ$ 纬度, $\Delta t = 6$ 小时 = 3600×6 秒。

$$i_u = i_0 + \Delta i_u \quad (13)$$

$$j_v = j_0 + \Delta j_v \quad (14)$$

然后,将 i_u 与 j_v 四舍五入取整。

在求得 i_u 与 j_v 后,再求由 ω_{R3} 移到未来9、15、21小时(GMT)所在各格点(i_u, j_v)的值 ω_{Rt} 。

ω_{Rt} 为与降水量对应的、不同时刻的垂直速度,并看作是, $ti-3$ 与 $ti+3$ 小时的平均,比如 ω_{R9} 为与降水量对应的 ω ,在资料时间后9小时的垂直速度,代表6—12小时内的平均垂直速度。

上面考虑了由实测降水量导出的垂直速度 ω_{Rt} 的移动,下面要近似计算 ω_{Rt} 的变化,变化后 ω_{Rt} 近似为:

$$\omega'_{Rt} = \omega_{Rt} + \Delta \omega_{Rt} \quad (15)$$

$$\Delta \omega_{Rt} = \omega_{Rt} \times a \times (\omega_{F12} - \omega_{F1}) / \omega_{F1}$$

$$(16)$$

ω_{F1} 与 ω_{F12} 分别为前后6小时的垂直速度预报值,式(16)的意义是 $\Delta \omega_{Rt}$ 引用了有限区模式的 ω 预报值的变化率,其中 a 为试验系数。

下面就可以求不同时间的降水强度 R_t , 即 R_9, R_{15}, R_{21} 。由前述的方程(5):

$$R \approx \frac{1}{g} \int_{p_t}^{500} \vec{V} \cdot \nabla q dp - \frac{1}{g} \bar{q} \omega_{500}$$

可以求出降水强度 R , 但 ω_{500} 必须由 ω'_{Rt} 来代替。

在由 ω'_{Rt} 求出不同时间的降水强度 R_t 后,只要乘上降水时间,就可求得降水量。其降水时间的合理设定,仍为一个难点,可以通过较多的试验按不同区域、不同季节、不同移速给出一个近似值,本试验取为1.5小时,由此算出的即为6小时时段内的降水量。

如果环境风力比较弱,两个相邻格点 i_u, j_v 相距不足1个经纬度,那么2个 R_t 产生的降水量将加到同一个格点上,这个格点代表了周围一个区域的降水状况,其面积约为 $112\text{km} \times 112\text{km}$, 于是,在24小时雨量预报中,将含有 R_3 , 以及 R_9 与 R_{15} , 或 R_{15} 与 R_{21}

所产生的降水量。

2 产品

强降水动力释用的预报产品可有两种,一种是分布在 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度网格上,全国范围的强降水区域预报,另一种是为全国435个站(含全国各地市以上城市、港、澳、台北)制作的强降水雨量预报(日降水量在25mm以上)。此预报作在站点上,代表它所在区域(约

112km $\times$ 112km)的强降水的平均状况。

3 预报检验*

为了与有限区模式的降水量数值预报作比较,采用业务有限区数值预报的检验系统,分别检验相同日期的两种预报。一种是业务的有限区模式的降水量数值预报;另一种是根据本方案制作的、以有限区数值预报产品为基础的降水动力释用预报(详见附表)。

附表 24小时强降水预报检验结果(全国100站平均)

预报方法	降水量 /mm	1992年8月					1992年9月				
		TS	PO	NH	EH	BIAS	TS	PO	NH	EH	BIAS
有限区数值预报	25	0.118	0.546	0.853	0.885	2.926	0.043	0.561	0.731	0.922	2.589
动力释用	25	0.094	0.424	0.896	0.806	4.868	0.087	0.347	0.870	0.876	5.213
有限区数值预报	50	0.072	0.551	0.812	0.959	2.783	0.013	0.411	0.443	0.975	1.117
动力释用	50	0.067	0.551	0.888	0.946	3.426	0.062	0.286	0.487	0.964	1.766
有限区数值预报	100	0.000	0.308	0.462	0.987	0.875	0.000	0.250	0.143	0.993	0.760
动力释用	100	0.111	0.231	0.462	0.988	1.000	0.036	0.214	0.375	0.987	0.952

说明:

TS(Threat Score),在数值上等于CSI,最佳为1,最差为0。 $TS = \frac{\text{报对次数}}{\text{预报次数} + \text{观测次数} - \text{报对次数}}$ 。PO为漏报率,最佳为0,最差为1。 $PO = \frac{\text{观测次数} - \text{报对次数}}{\text{报对次数}}$ 。NH为空报率,最佳为0,最差为1。 $NH = \frac{\text{预报次数} - \text{报对次数}}{\text{预报次数}}$ 。EH为预报效率,最佳为1,最差为0。 $EH = \frac{\text{强降水报对次数} + \text{无强降水报对次数}}{\text{强降水预报次数} + \text{无强降水预报次数}}$ 。BIAS为习惯偏差,最佳为1, >1 表示强降水预报次数偏多, <1 表示强降水预报次数偏少。 $BIAS = \frac{\text{强降水预报次数}}{\text{观测到的强降水次数}}$ 。

4 讨论

4.1 从检验结果的TS评分来看,强降水动力释用预报对100mm以上的大暴雨其预报能力比有限区数值预报略强(BIAS为1,即预报次数等于观测次数),对25mm与50mm的大到暴雨的预报能力8月份不如有限区数值预报,而9月份则优于有限区数值预报,这表明该强降水动力释用预报方案有研究与改进的价值,并且有可能通过动力释用,略为提高有限区数值预报对强降水的预报能力。

4.2 形成6小时雨量的降水时间的长短对由观测资料推算的降水强度有很大影响,利用雷达资料可获得实际降水时间,这样可以得到较为接近实际的降水强度,否则降水时间参数只能通过大量试验获得。

4.3 从检验结果来看,25mm与50mm的大到暴雨的动力释用预报的BIAS偏大,这表

明预报大到暴雨的次数偏多,部分原因可能与计算的引导气流偏强有关。所以如何利用有限区数值预报提供的各层风的 u 、 v 分量恰当地引导具有 ω_{R_3} 上升速度的天气系统,尚有待实验并改进。

4.4 在求得预报的降水强度后,用多长的降水时间进入计算仍是一个技术难点,它和环境风场的 u 、 v 分量有关,引导气流强,系统移动得快,降水时间就变短,但其具体降水时间可以采用最初使用在6小时雨量中的降水时间,并根据 u 、 v 分量的变化作修正。

参考文献

- 1 孙岚,大尺度强降水的基本物理条件和天气形势配置,气象,1992年3期。

* 为陈爱琴同志所作。

(下转第55页)

The tests for heavy rain forecasting based on dynamical interpretation of NWP products

Xia Jianguo

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The major points on dynamical interpretation of NWP products are to put the observed 6-hour rainfall($\geq 10\text{mm}$) into the formula calculating the intensity of precipitation and vertical velocity, and then the vertical velocity and the intensity of precipitation forecast given by the model are modified by the model products, u, v, Q and w , finally the rainfall is calculated. The heavy rain forecast in two ways, on grids($1^\circ \times 1^\circ$) and at 435 stations.

The verification shows that heavy rain forecasts by dynamical interpretation of NWP products are more or less better than that of the model forecasts for the category, 100mm rainfall. For the categories, 25mm and 50mm rainfall, it is worse in August and better in September this year than that of the model forecasts.