

风场在预报暴雨发生中的作用

——1975年8月上旬特大暴雨的数值实验

赵思雄 周晓平*

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文使用一个细网格的多层原始方程模式对1975年8月上旬(即著名的“758”)特大暴雨过程进行了数值模拟。我们发现:

- 1) 初始风场对于暴雨的发生有相当大的影响,要想得到较好的预报结果,应设法使用实测风为初始资料。
- 2) 交替使用两类光滑算子,可以使得由于采用实测风初值而产生的锯齿波有所削弱。

一、前 言

1975年8月上旬河南省南部,淮河上游的丘陵地区发生了著名的所谓“758”特大暴雨,我国气象工作者已对此进行了大量的天气学和动力学分析^[1-3],并得出了某些结论。为了进一步弄清制约这次暴雨的物理因子和试验我们设计的数值模式^[4]预报暴雨发生的能力,我们用这次特大暴雨过程四天的资料进行了数值试验,结果发现初始风场对于暴雨的发生有相当大的影响。

一系列的试验表明,一个能预报暴雨的模式与现有的大尺度天气预报模式应在下面几个方面有所不同:

1. 预报暴雨必须有较准确的温度场,因为只有这样才能计算较准确的温度平流,才能准确计算水汽何时开始凝结以及凝结量,在 $\sigma(=P/P_s)$, P 为气压, P_s 为场面气压)坐标中才能较准确给出气压梯度力等等。大尺度模式过去常用厚度来计算温度,因截断误差使温度的计算很不精确。同时输入气压与温度又常与静力平衡方程发生矛盾,这个问题我们已通过把静力方程再对时间微分一次加以解决了^[4]。

2. 大尺度天气预报模式常用地转风或平衡风做为初值。这种初值一般说来带来的辐散较小。它虽然抑制了重力波,使初值处在一个比较协调的状态,但被它舍去的辐合恰恰是我们短时预报暴雨或强对流发生所不可缺少的。因此,在初值中保留较大的辐合并使计算不致发生计算不稳定或计算的紊乱现象就成为暴雨数值预报所必须解决的特殊问题。我们对模式作的一些处理初步解决了这一问题。

1981年9月9日收到,1982年8月5日收到修改稿。

* 参加本工作的还有:刘苏红、赵深铭。

zhangdaoping

3. 暴雨中有较强大的对流云,它的尺度几乎可与暴雨的区域具有同样的量级。因此,在这里对流云的作用并不总是象在大尺度天气系统那样可以看做是一种统计现象而加以参数化。最好能对个别积雨云在特定场合下的发展进行模拟,从积云发展直接计算降水量以及它对暴雨区天气系统的反馈作用。这项工作我们正在进行中,对流云显然会使暴雨加强,但它只有在暴雨发生后才会起作用。

限于技术与计算机容量,这里只给出暴雨发生过程的研究以及不考虑对流云时的降水量。本文侧重对上述第二个问题,即风场在暴雨形成过程中的作用做了一些分析。只给出一些试验结果,物理分析将在另文交待。

二、实验方案及计算结果

天气分析的经验告诉我们,在预报暴雨这样的中尺度系统时,应重视流场的分析。我们所进行的一系列理想场数值试验也表明,风场对中尺度系统的形成和维持有重要的作用^[1]。为了寻找象 1975 年 8 月这样的特大暴雨发生的原因,看它的初始风场起什么作用,我们设计了如下的数值实验。

我们使用的细网格多层原始方程数值模式可参看文献[4]。在进行数值积分时,水平格距取为 100 公里,时间步长为 3 分钟,计算区域为 3000×2400 平方公里。我们分别选 1975 年 8 月 4—7 日四天的实测资料为初始场作 24 小时的形势预报和降水预报。在所有实验中,我们输入各层真实的高度场、温度场、湿度场。而对风场则按地转风和实测风两种不同的方案分别进行。我们发现,使用实测风为初值得到的雨区比用地转风更接近实况。

众所周知,“758”破纪录的降水是同一个登陆后北上的台风(7503)有关。这个台风 8 月 4 日 02 时在我国福建沿海登陆。然后北上,逐渐变为一个热带低压。图 1 是 1975 年 8 月 4 日 20 时到 5 日 20 时的 24 小时实测降水量。可以看到降水区在长江中游湖南省境内,中心在长沙附近为 167.8 毫米。我们用 1975 年 8 月 4 日 20 时的资料为初始场进行实验(见图 2)。首先我们用地转风作初值,这时预报出的雨区不仅偏到了长江三角洲,

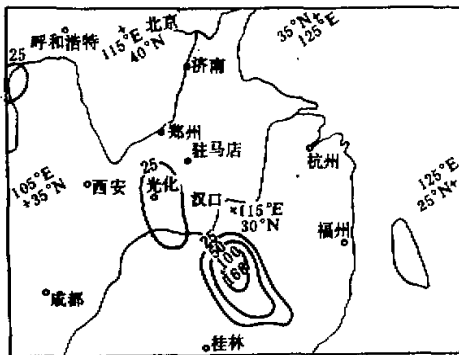


图 1 1975 年 8 月 4 日 20 时至 5 日 20 时
实测的 24 小时降水量(单位:毫米,以下同)

而且降水量也偏小与实况相差较大。而改用实测风作初值,则预报结果有很大改进。可以看到,有一个椭圆形的雨区,其长轴呈南北走向,位于长江中游附近,与实况很接近,只是略微偏北一些。雨量比实况偏少,这也许是由于只考虑了次天气尺度的降水,而实际的降水量中还应包括对流性降水的缘故。此后,我们又对这一过程后三天的情况进行了实验。几乎所有以地转风为初值的预报结果都不好。用实测风后,这三天雨区的预报有较大改进。我们注意到 7503 号台

风登陆后转为低压经江西南部到湖北,再转向东北东。以后受北面高压带阻挡移速减慢,在河南南部停滞和徘徊 20 多小时。5—7 日雨区的分布大体在低压的东北部,而且也有徘徊的现象,也是由南向北移而后停滞少动。

从 5 日 08 时至 6 日 08 时的 24 小时降水量可以看到,雨区基本上维持在长江黄河流域之间,暴雨中心集中在汉水和淮河上游,最大中心值出现于光化附近。这一天随着低压系统的移动,雨区位置与前一天比较有了较大的变化,暴雨区由长江以南迅速移到长江以北。这样明显的变化,我们的模式基本上预报出来了(图 3)。暴雨中心比实况偏北约 100 公里。雨区的位置有较好的参考价值,但雨量比实况小。

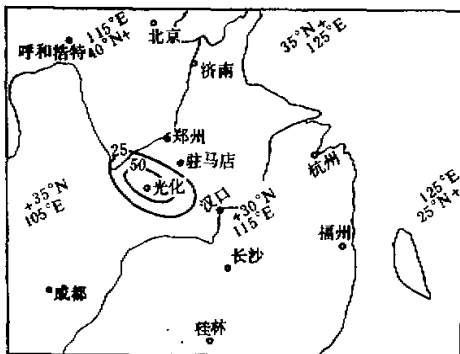


图 3 以 1975 年 8 月 5 日 08 时实测风为初值预报的 24 小时降水量

7 日 08 时至 8 日 08 时雨区有北移。整个雨带呈南北向。一个最大的中心维持在河南省,另一个次大的中心在邢台、石家庄附近(图 4)。7 日是河南特大暴雨最大的一天。由于我们没有加入对流云的降水作用,因此,没有报出那么大的降水量。但是通过实验发现,使用实测风作初值对于预报雨区分布仍有较好的效果。从图 5 以地转风为初值所得的预报结果看出,雨区分布主要集中在京津渤地区,而在河南省境内只有很小一片雨区,这与实况有较大出入。当换成实测风做初值时,改变最明显的是在河南省南部及淮河上游出现了大片的雨区。尤其值得注意的是一个相对的大值区出现在驻马店附近。在邢台、石家庄附近有另一片雨区。这比地转风初值的情况有较大的改善,但缺点是雨区不是南北向而是呈东西向,范围也比实况要大。

“758”暴雨降水量最大的一天,预报出的雨量与实况相差悬殊。这可能是与下列几个

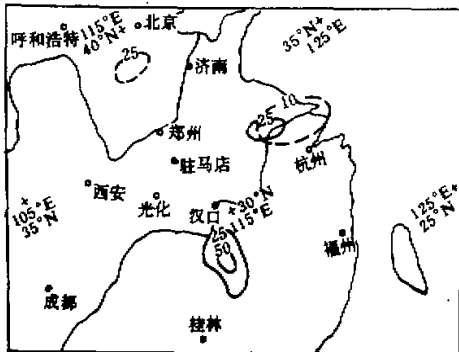


图 2 以 1975 年 8 月 4 日 20 时资料为初值预报的 24 小时降水量

(实线: 实测风, 虚线: 地转风)

6 日 08 时至 7 日 08 时的情况也是很有意思的。从实况看,整个雨区仍停留在长江和黄河流域之间,位置上没有很明显的变化。但仔细分析一下仍可发现,整个雨区有东移的趋势。在河南驻马店附近已出现了暴雨。用实测风为初值预报的雨区也与实况很相近,也在长江和黄河之间。虽然没有报出暴雨的两个中心,但雨区东移的趋势还是很清楚的。预报的暴雨中心移到了淮河上游,最大中心在驻马店、信阳一带,不过预报的雨量仍比实况偏小(图略)。

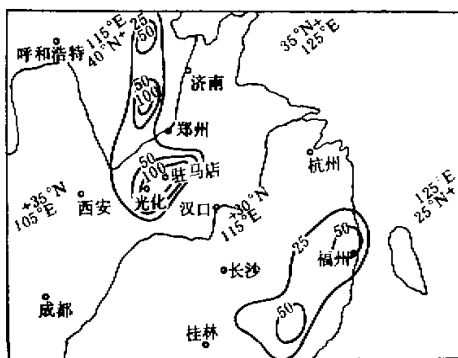


图4 1975年8月7日08时至8日08时实测的24小时降水量

因子有关:

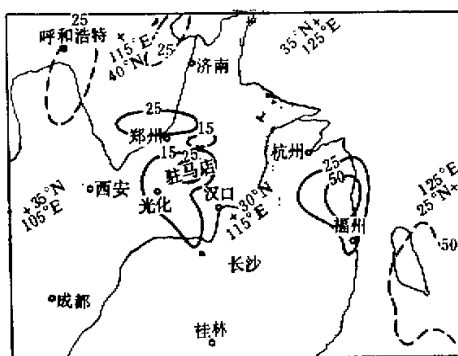


图5 以1975年8月7日08时资料为初值
预报的24小时降水量

(实线:实测风,虚线:地转风)

1) 在7日的暴雨过程中有6次偏东风与偏北风的中尺度辐合线,还有一次偏北风的风速辐合线。这些辐合线和强降雨区有密切的联系。但是,辐合线的空间尺度为50—150公里,时间尺度几小时到十几小时,对这样小尺度的风场扰动,我们的模式($\Delta S = 100$ 公里)可能被漏掉,如果今后能在特定的区域采用更细的网格,可能会有所改善。

2) 强降水常在三面环山的迎风坡喇叭口地形处以及山谷中间停滞,发展。7日这天正是这种情况,本模式对这种小地形作用未加考虑。

3) 水汽输送有一半左右是在850毫巴以下进行的,我们的初值只用了850毫巴及地面资料,没有用这两层当中的资料。

4) 没有考虑积云的发展对局地降水以及对于环境的作用。

虽然如此,对四天的资料进行的计算说明模式对风场比其它要素场较为敏感,而用实测风做为初值时,预报所得暴雨发生的区域是可供参考的。叶笃正等^[6]在讨论地转适应过程中指出:大尺度运动主要是风场向气压场适应,而在中小尺度运动中主要是气压场向风场适应。陶诗言等^[7]在暴雨分析中也指出,要着重抓流场上的中尺度系统分析。本实验得到的在暴雨过程中流场的作用很明显这一看法与上述观点是吻合的。此外,实测风与地转风的主要差别在于充分考虑了流场的辐散,可见辐散场的初始状态对中尺度系统的发展是十分重要的。

三、关于二倍格距锯齿波的处理

使用实测风带来了计算上的某些紊乱, 尤其是计算的辐合辐散较大从而使地面气压场的计算效果不好。这是数值预报最困难的问题之一。由于较大的辐散引起的重力波较短, 使用实测风场经常有二倍格距的锯齿波, 用地转平衡风做初值这个问题并不严重, 而在我们这里却成了必须加以解决的问题。通过多次实验发现, 锯齿波(在国外称为棋盘波 Checkerboard mode) 的分布虽然比较乱, 但也是有规律可循的。一般说来, 在我们的模式里锯齿波可分为平行于边界或是与边界成 45° 角两种。为了消去这两种波动, 我们交替使用两类光滑算子。根据 Shuman 的符号, 它们可写为:

$$a) \bar{A} = (1 - 4K)A + K(\bar{A}^{2x} + \bar{A}^{2y})$$

$$b) \bar{A} = (1 - 4K)A + K(\bar{A}^{2x} + \bar{A}^{2y})$$

其中 A 代表任一气象要素场。事实上这两个公式都是最简单的五点光滑公式。a) 为十字形光滑, b) 为 $\times$ 字形光滑。大家知道, 当光滑系数 $K = 0.125$ 时, 从滤波特性的角度来看它们都可以把两倍格距的波动完全光滑掉。只不过 a 类光滑算子所光滑的是在正方形网格垂直于边界的锯齿波, b 类光滑算子对抑制与边界成 45° 角的锯齿波最为有效。最好是每步对倾向同时使用这两个光滑算子。这样既能有效地抑制新生的计算锯齿波, 也不会对要素场有过分的光滑。此外, 每隔 3 小时对整个要素场进行一次光滑, 就可以使各种要素场基本上消去各种锯齿波, 从而使预报有较大的改进, 特别是地面气压场。

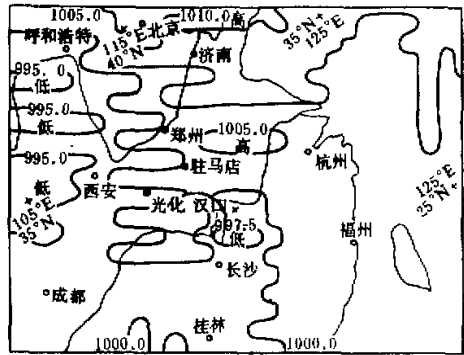


图 6 用 1975 年 8 月 5 日 08 时实测风初值 (未经处理) 预报的 24 小时地面气压场

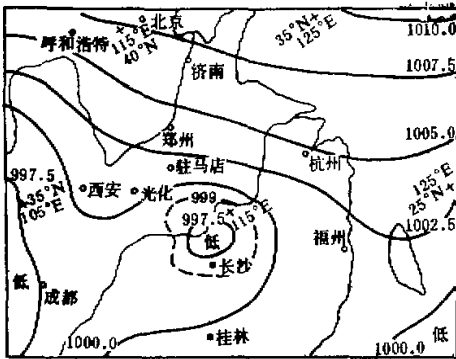


图 7 用 1975 年 8 月 5 日 08 时实测风初值 (经光滑处理) 预报的 24 小时地面气压场

齿波, 从而使预报有较大的改进, 特别是地面气压场。图 6 是用实测风为初值, 未经任何处理预报得到的 24 小时地面气压场, 图上的锯齿波相当严重, 气压系统无法辨认。图 7 是输入经光滑处理的实测风为初值所得的结果, 锯齿波的影响在很大程度上得以克服。预报的低压中心(由台风转变而来的系统)为 997 毫巴, 位于武汉的西南方, 其长轴呈东西向, 这与实况(8 月 6 日 08 时)很相似。我国的西南西北地区为一低压, 这与实况相符, 但深了一些。这主要是由于边

界影响所致。河套东边南伸的地面高压楔报得比实况偏强了一些。这说明我们的模式使用实测风作初值有相当好的能力,同时表明上述消除锯齿波的方法也是有效的。关于实测风可用作数值预报的初值已有过研究^[7],我们的这一实验也可得到证实。

四、小 结

通过上述实验我们可以得出三点结论: 1) 对于象“758”这样的暴雨,本模式对其发生及雨区分布的变化(如北推,东移,停滞)具有一定的预报能力。从用暴雨过程中四个初始时刻的资料分别作四天的 24 小时预报看,雨区的特征是可以参考的。为了预报出较大的雨量,我们正准备把一个积云对流降水模式嵌入本模式中。2) 实测风初值预报出的雨区位置比用地转风初值要更接近于实况,今后在暴雨预报中应尽量设法使用实测风资料作为初始场。由此也可得知,暴雨发生的过程与风场关系较大,今后应更好地分析风场并注意风场在形成暴雨中的机制。3) 使用实测风带来的计算紊乱现象可采用两类光滑算子交替使用的方法而使锯齿波有所削弱,如能增加其它的处理,还可能收到更好的效果。

致谢: 在我们的工作中得到蔡则怡同志的热情帮助,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言等著,中国之暴雨,科学出版社,1980。
- [2] 丁一江,蔡则怡,李吉顺,1975 年 8 月上旬河南特大暴雨的研究,大气科学,第 2 卷第 4 期,276—289,1978。
- [3] “75.8”暴雨会战北京组,“75.8”河南特大暴雨的动力学分析,气象学报,第 37 卷第 4 期,45—55,1979。
- [4] 周晓平,有限区域四层原始方程模式试验,第二次全国数值天气预报会议论文集,28—30,1980。
- [5] 赵思雄,周晓平,张可苏,刘苏红,中尺度低压系统形成和维持的数值试验,大气科学,第 6 卷第 2 期,109—117,1982。
- [6] 叶笃正,李麦村,大气运动中的适应问题,科学出版社,1964。
- [7] 曾庆存,实测风场在数值天气预报中的应用,大气科学,第 1 卷第 3 期,165—173,1977。

THE EFFECT OF WIND FIELD DISTURBANCES ON THE FORECAST OF RAINSTORM FORMATION

Zhao Sixiong Zhou Xiaoping

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

A case of record rainstorm in history of China in August, 1975 has been simulated by using a fine mesh numerical model. It is found that the position and intensity of the heavy rain are closer to the observed by use of real winds as initial data than by use of geostrophic or equilibrium winds. It is suggested that the real wind should be fully considered in a short time as numerical heavy rain model and the impulse problem of the initial wind data should not be avoided. Also, it is successful to eliminate the checkerboard (or two grid) computation modes by use of two kinds of alternative smooth operators.