

# 螺旋度诊断分析与短时强降水面雨量预报

刘惠敏 郑兰芝

(安徽省气象科学研究所,合肥 230061)

## 提 要

利用 T106 细网格多个基本要素场和物理量预报场,诊断分析高低空 Z-螺旋度在暴雨形成中的贡献,结合其他动力、热力物理量场,采用动态方法,建立降水量的逐步回归方程,作未来 6 小时的面雨量降水预报。

**关键词:** 螺旋度 动态逐步回归 面雨量

## 引 言

安徽省地处中纬度,是洪涝灾害多发的省份,暴雨是造成洪涝灾害的主要天气过程。长期以来,如何提高预报这类天气的准确率一直是气象工作者们研究的主要方向。本文运用近年引入的 Z-螺旋度<sup>[1]</sup>,利用 T106 数值预报产品,分别计算高、低空的 Z-螺旋度,诊断分析螺旋度在暴雨形成中的贡献,制作未来 6 小时的降水落区趋势预报。结合相对湿位涡、Q 矢量等物理量场,采用动态逐步回归统计方法预报未来 6 小时的降水面雨量。

### 1 区域性降水的螺旋度诊断预报方法

从暴雨的研究和预报实践中得知,单一的诊断物理量,如涡度、散度等虽然对天气的发生发展具有一定的指导意义,但暴雨等灾害性天气过程物理结构极为复杂,同一次天气过程中结构也有变化。因此,用简单的单一物理量或几个物理量一起参与进行解释,其效果都不尽人意,由于螺旋度是计算当水平涡旋在环境场中向垂直方向倾斜时涡旋在雷暴上升气流中的发展趋向,测量旋转上升气流的垂直风切变,它可以直接估算发展雷暴的上升气流中涡旋(中气旋)的发展,所以 Z-螺旋度能够较好地刻画暴雨时的物理量空间结构。

#### 1.1 计算区域与预报时效

利用物理量预报暴雨落区要取得相当的精度,选取计算区域的大小是非常重要的,为了能准确地反映安徽省及其周边地区的强降

水范围,采用国家气象中心的 T106 有限卫星通讯传输(GRIB 码)数值预报产品的细网格模式资料,资料输出的为 6 小时的预报场,垂直层次 9 层。选取范围为 25~40°N、110~125°E,网格距为 1°×1°。由于通讯技术问题,前一天 20 时发布的 T106 数值预报产品,直至第二天的上午 10 时才收到,为了预报需要,这里只采用了 18~36 小时的预报场资料,预报时效为 6 小时。

#### 1.2 计算方案

与雷暴相关的风在大气底层随高度顺时针旋转是旋转雷暴发展的一个关键因素<sup>[2]</sup>。为了能够较好的反映雷暴旋转特性和发展趋势,提高螺旋度降水预报的准确度,本文根据天气动力学的质量补偿原理,对流层中部应存在一个无辐散层,这里用这一个无辐散层来定义低层上升气流中涡旋发展的高度,将在垂直方向自下而上到第一个无辐散层的 Z-螺旋度总和作为低层螺旋度,配合考虑由上而下至第一个无辐散层的高层 Z-螺旋度,在高层螺旋度达到一定量的落区范围内,用低层螺旋度的落区范围和数量去预测暴雨落区和强度。

为便于研究有利于暴雨落区的天气尺度环境,采用计算方便的  $p$  坐标系的螺旋度  $H_p$ ,

$$H_p = - \int \omega \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp$$

低层螺旋度:

$$H_l = \int_{1000}^{p_u} \omega \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp$$

$p_u$  是在积分下限 1000hPa 上,其散度必须小于零的条件下,由下而上积分的第一个无辐散层的位势高度,并只对  $\omega < 0$ ,  $\left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) > 0$  时进行计算。

高层螺旋度:

$$H_h = \int_{100}^{p_u} \omega \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dp$$

$p_u$  是在 100hPa 下,其散度必须大于零的条件下,由上而下积分的第一个无辐散层的位势高度,并只对  $\omega < 0$ ,  $\left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) > 0$  时进行计算。

### 1.3 螺旋度与降水落区的关系

计算了 2000 年、2001 年汛期 6 月、7 月份逐日 6 小时螺旋度场,发现低层 Z-螺旋度可以很好地反映降水落区,尤其是暴雨落区。就高低层螺旋度对降水的贡献看,高、低层螺旋度至关重要。一方面,如果低层螺旋度值为零,即使高层螺旋度值很大,低层无辐合,基本上不产生降水。另一方面,计算出的低层螺旋度的值很大,事实上实况雨量也较小、或者根本没有降水。验证了在考虑低层螺旋度对降水落区的贡献时,不能忽视高层

螺旋度在暴雨中的作用。以往人们研究螺旋度,大多只计算低层螺旋度。实际上在风暴成熟阶段,高层螺旋度对对流单体的能量维持至关重要,如果高层没有较深厚的辐散,即使低层为强的辐合,配合有大的气旋性正涡度,也不可能形成长生命期的对流单体,也不可能强降水出现。所以在计算中首先判断高层螺旋度,在高层螺旋度达到一定量的落区范围内,再计算低层螺旋度。

2000 年 6 月 19 日安徽省进入主汛期,21 日西太平洋副高加强西伸到华南沿海,同时 850hPa 沿江有切变线生成,大别山区、沿江及江南出现了暴雨和大暴雨。从加密观测的 6 小时地面站雨量资料分析,21 日的降水主要集中在 21 日 08 时(北京时,下同)至 21 日下午 14 时这一时段,江南 6 小时 25mm 以上降水有 20 个站,沿江西部有 5 个站降水达 50mm 以上,其中枞阳的 6 小时降雨量达 126mm。就此次强降水过程分析,螺旋度的落区和强度对暴雨反映都很好。图 1 是 2000 年 6 月 21 日 08 时 Z-螺旋度预报等值线图(a)和 6 小时实况降水等值线图(b)。由图可看出,螺旋度等值线图的大值中心  $906\text{hPa}^2 \cdot \text{S}^2$  位于沿江西部,与实况雨量的强降水中心位置基本吻合。

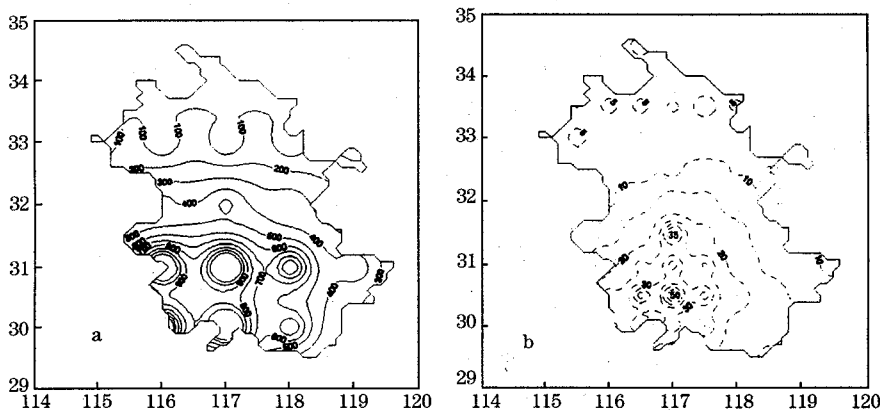


图 1 2000 年 6 月 21 日 08 时 Z-螺旋度预报等值线(a)和 6 小时实况降水等值线图(b)

2000 年 7 月 13~14 日由于副高控制淮河以南地区,雨区北抬到沿淮淮北,其中 13 日 13 个地面站下了暴雨,7 个站大暴雨。从 Z-螺旋度对这一过程的预测看,其预报落区

基本落在淮北地区,降水中心、降水面积与实况雨量吻合的均比较理想。从 2000 年 7 月 13 日螺旋度 02 时、08 时的等值线预告图(图略)上看,螺旋度中心恰好落在萧县附近,而

13日02~08时、08~14时淮北北部大到暴雨,实际50mm以上降水主要集中在这一地区;13日14~20时,雨势减弱,螺旋度同样反映这一趋势;7月14日清晨的沿淮大暴雨,螺旋度对降水落区反映的也比较理想,只是量级偏小。此次降水过程,除了预报的值偏小,螺旋度反映的降水落区是不错的。

关于螺旋度大值中心与降水中心的关系,由1999年、2000年以及2001年的几场

暴雨分析中发现,降水中心有时并非出现在螺旋度大值中心处,而是落在螺旋度梯度大值中心,例如:2000年6月27日凌晨,淮北地区有一强降水过程,截止到27日08时已有12个地面站6小时下了大到暴雨,其中5个站降了50mm以上,利辛6小时下了105mm。虽然螺旋度对强降水的预测是在淮北地区,但是降水中心却发生在螺旋度的梯度大值中心处,如图2(a)。

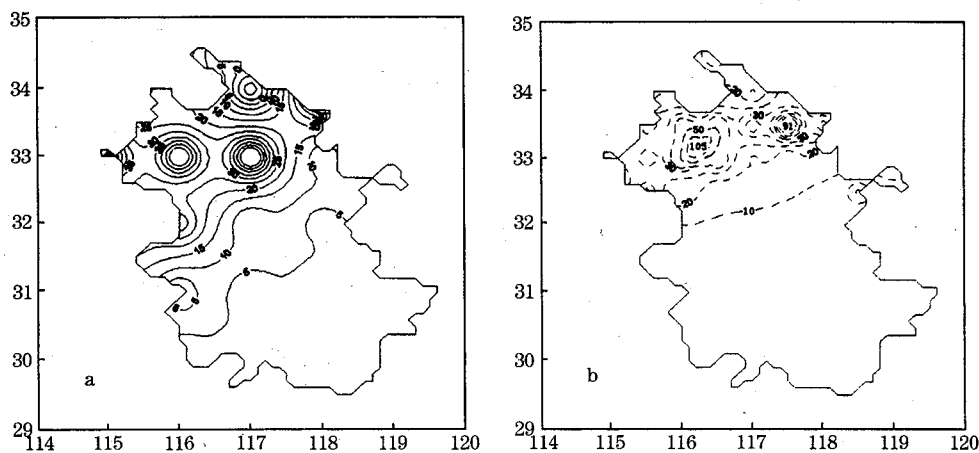


图2 2000年6月27日02时螺旋度梯度的等值线预报(a)和6小时实况降水等值线图(b)

由图2可以看出这一时次的暴雨中心用螺旋度的梯度预报较为理想。说明强降水并非总是发生在强的上升气流的地方,而有时是出现在其下游,即暴雨发生在物理量等值线密集的地方。

## 2 面雨量预报

### 2.1 建立以空间序列为样本长度滚动式的预报方程

通过物理量诊断分析,认为用T106资料计算的螺旋度对安徽省6小时强降水有一定的预测能力,但是上述螺旋度预测仅限于定性描述。为了定量预报降水,在定性分析的基础上,结合Q矢量<sup>[3]</sup>、相对湿位涡<sup>[4]</sup>以及其他动力、热力物理量场,通过逐步回归,建立降水量预报方程。由一天4个时次物理量诊断分析结果,发现基本上是6小时实况雨量与前一时次的物理量的相关性最好。基于这种特点,提出了应用动态的逐步回归方程预报暴雨的方法,即预报方程只建立在前一个时次基础上,用前一个时次的物理量场与6小时后格点降水资料所建立的预报方

程,结合下一个时次的物理量场预测其6小时后的降水量。具体方法是采用空间序列为样本长度,取29~35°N、114~120°E为分析区域。将物理量、降水资料插值到0.5°×0.5°网格点上。每个时次有169个样本长度,用 $T_0$ 时刻建立的回归方程预报 $T_0+6$ 小时时刻降水量。即:

$$y = a + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7$$

上式中, $a$ 为常数项, $a_1 \sim a_7$ 为回归系数, $x_1 \sim x_3$ 分别为Z-螺旋度、Q矢量、相对湿位涡, $x_4$ 为利用水汽收支平衡方法计算的降水量<sup>[3]</sup>, $x_5 \sim x_7$ 分别Z-螺旋度、Q矢量、相对湿位涡在 $y$ 方向的梯度。

以6小时预报产品为资料源,采用物理量动态回归方程,通过对2000年、2001年汛期6月、7月份4次强降水过程,31个时次回归分析,可以看出,方程对降水预报精度不是太高,相关系数大于0.40的仅有5个时次,相关系数平均值仅为0.24。造成预报精度

不高的原因很多,其中资料的空间分辨率太低,雨量资料在插值中,产生一定的平滑效果,使得降水中心变的不明显,是造成方程对降水(格点值)预报精度降低的原因之一。但是结果分析却反映了越是临近降水时刻物理量建立的方程对降水(格点值)预报效果越好的规律。用前6小时的回归方程预报的降水与实况雨量的相关最好。如:21日08时(北京时)的回归方程预告的降水与14时的实况雨量相关系数达到0.45;而用21日02时的方程预报时,预报值与14时的实况雨量相关系数是0.40;用20日20时的方程预报时,相关系数就减至0.22。从其它几次降水过程的预报效果来看,80%满足这一现象。

### 2.2 面雨量的计算

把降水区的每个正方形网格作为一个有限元,网格点的预报降水作为有限元的降水量对区域降水求面雨量,则有:  $P = \sum P_i$  其中  $P$  为面雨量,  $P_i$  为第  $i$  个正方形网格点的降水量,根据降水过程预报情况,大致可看出有这样规律:(1)当天气系统生成发展和减弱消亡阶段,预报的降水基本上能够反映面上实况降水,在中尺度天气系统成熟期预报的降水比实况小。(2)对成熟期降水预报存在滞后现象。图3是2000年6月21日08时~6月23日20时面上实况雨量与预报降水分布图。从图中看出实况降水小于1000mm,预报的面降水量基本上反映了实况降水量。而对1000mm以上实况降水,预报方程的反映能力明显减弱。例如:21日08~14时段6小时实况降水已经达到2010mm,预报的面降水量仅为890mm;22日14~20时段6小时暴雨过程表现的尤为突出。说明就中小尺度强降水而言,6小时

时间间隔的数值预报产品分辨率仍然过低,用6小时一次的资料,物理量对成熟期的暴雨诊断能力就会减弱,同时也进一步说明越是临近降水时刻,产生降水的物理机制(因子)与降水(落区和量)关系越密切,建立滚动式的预报方程对提高降水预报是有实际意义的。

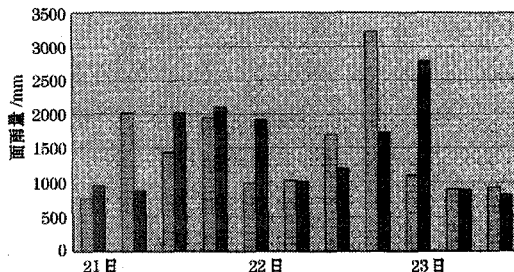


图3 2000年6月21日00时~6月23日12时面上实况雨量与预报降水分布  
深色柱:预报值 浅色柱:实况值

### 3 结论

- (1)采用 T106 细网格资料,在配合考虑高层螺旋度的情况下,低层螺旋度对降水落区有一定的预测能力。
- (2)强降水中心有时发生在物理量的梯度中心区。
- (3)用动态统计的方法做暴雨预报有利于提高统计预报效果。

### 参考文献

- 1 杨越奎等. 91.7 梅雨锋暴雨的螺旋度分析. 气象学报, 1994, 52(3): 379~384.
- 2 章东华. 螺旋度—预报强风暴的风场参数. 气象, 1993, 19(8): 46~49.
- 3 丁一汇编著. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1989: 174~176.
- 4 王道中等. 位涡在暴雨成因分析中的应用. 应用气象学报, 1996, 7(1).

## Helicity Diagnosis and Short-time Extraordinary Area Rainfall Forecast

Liu Huimin Zheng Lanzhi

(Anhui Meteorology Institute, Hefei: 230061)

### Abstract

The contribution of vertical helicity to heavy rainfall are analyzed by T106 fine grid multi element numerical forecast. A dynamic precipitation products stepwise regression equation is established and the coming 6-hour area rainfall forecast is developed by combining dynamical and thermodynamical physics parameters.

**Key Words:** helicity dynamic stepwise regression area rainfall