

# 常规资料获取中尺度信息的一种简便方案

陈忠明

(四川省气象科学研究所, 成都 610072)

## 提 要

基于 Barnes 滤波原理, 利用低通滤波场的连续性特征, 设计了一种从观测资料中提取中尺度气象信息的简便方案。利用该方案, 可独立地获得观测站网和规则网格点上的中尺度气象信息, 为基层气象台站进行中分析提供了方便。该方案与过去方案相比, 具有计算量小、速度快、程序设计简单、计算精度高等优点, 尤其适合基层台站使用。

关键词: 低通滤波 带通滤波 中尺度分析 暴雨分析

## 引 言

大尺度系统可以提供中尺度天气系统形成的条件和环境场; 中尺度系统才是直接造成暴雨的天气系统<sup>[1]</sup>。然而, 中尺度分析需以较高时空分辨率的观测资料作基础。我国目前除几个中尺度试验基地获取的特殊观测资料可进行中分析外, 其它广大地区(尤其是基层气象台站)在现有条件下难以获取制作中分析所需的观测资料。尽管如此, 人们还是渴望利用现有资料去认识和理解大气中的中尺度现象。为此, 有的学者根据滤波原理, 设计并发展了一些从常规观测资料中提取中尺度信息的滤波方案<sup>[2-5]</sup>, 通过对常规观测资料作适当处理, 分析导致暴雨和强对流天气的中尺度系统。这一方法已较广泛地用于暴雨分析研究之中, 并取得了较好效果<sup>[6-9]</sup>。由于这些滤波方法计算量较大, 且大多是在客观分析后的网格资料上进行的, 对程序设计和计算条件有一定要求, 因而给业务单位的应用带来了一定的困难。为此, 本文在 Barnes 滤波原理的基础上, 设计了一种计算量小, 不需要对观测资料作网格化处理的提取中尺度气象信息的简便方案。

## 1 方案的基本原理

Barnes 滤波方案以其简便和较好的滤波效果而得到广泛应用。但人们在使用该方法

时, 总是将非均匀站点资料插值到网格点上来完成。网格资料虽然有便于进行物理量计算等优点, 但同时也带来了计算量较大(人工计算或由计算器计算无法完成), 程序设计较麻烦, 以及产生不必要的插值计算误差等弊端。为了克服上述缺陷, 设计出适合于基层台站应用的滤波方案。我们在不改变 Barnes 滤波原理的情况下, 将原方案在网格点和测站上的计算过程全部改在测站上进行, 从而设计出简单、灵活、既便于机算也便于手算的滤波方案。

设  $P_0$  等压面上某一气象要素的观测值为  $F_{(x_k, y_k)}$ ,  $k=1, 2, \dots, N$  为测站序号,  $x_k, y_k$  分别为测站的坐标。根据 Barnes 滤波原理<sup>[5]</sup>, 由观测值  $F_{(x_k, y_k)}$  确定的低通滤波初值场为

$$F_{(x, y)}^{(0)} = \frac{\sum_{k=1}^M w_k F_{(x_k, y_k)}}{\sum_{k=1}^M w_k} \quad (1)$$

其中

$$w_k = \exp\left(-\frac{r_k^2}{4c}\right) \quad (2)$$

式中,  $F_{(x, y)}^{(0)}$  为连续函数;  $c$  为滤波常数;  $r_k$  为测站  $(x_k, y_k)$  到点  $(x, y)$  的距离;  $M$  为参加点  $(x, y)$  处滤波的资料样本数。

由于式(1)获得的低通滤波初值场  $F_{(x, y)}^{(0)}$ ,

为一连续场,因此,利用式(1),我们必然能够求出测站 $(x_k, y_k)$ 处的低通滤波初值 $F_{(x_k, y_k)}^{(0)}$ 。于是,测站 $(x_k, y_k)$ 处要素值与初值的差值便可直接得到:

$$D_{(x_k, y_k)} = F_{(x_k, y_k)} - F_{(x_k, y_k)}^{(0)} \quad (3)$$

$k = 1, 2, \dots, N$

该差值反映了由式(1)获取的低通滤波初值场对原始要素场信息的损失。除了需要滤掉的一些短波信息外,为了使经处理后获得的低通滤波场具有较高的滤波效果(即将需滤掉的波动与保留波动明显地区分开),尚需对低通滤波的初始场 $F_{(x, y)}^{(0)}$ 作进一步订正:

$$F_{(x, y)}^{(1)} = F_{(x, y)}^{(0)} + \frac{\sum_{k=1}^M w_k D_{(x_k, y_k)}}{\sum_{k=1}^M w_k} \quad (4)$$

其中

$$w_k = \exp\left(-\frac{r_k^2}{4Gc}\right) \quad (5)$$

式中, $F_{(x, y)}^{(1)}$ 即为 Barnes 低通滤波场; $G$ 为另一滤波常数,取值通常为 0.2—0.4。过去的研究表明,经过一次订正后获得的低通滤波场 $F_{(x, y)}^{(1)}$ ,即具有较好的滤波效果。由于 $F_{(x, y)}^{(1)}$ 也是一个连续场,因此,利用式(4),我们也必然能够求出测站 $(x_k, y_k)$ 处的低通滤波值 $F_{(x_k, y_k)}^{(1)}$ 。

与 Barnes 低通滤波器(4)相对应的滤波响应函数为

$$R_L = R_0(1 + R_0^{c-1} - R_0^c) \quad (6)$$

$$R_0 = \exp(-4\pi^2 c / \lambda^2) \quad (7)$$

式中, $\lambda$ 为波长。由式(6)、(7)可见,滤波器(4)的滤波性能取决于滤波常数 $c$ 和 $G$ ,选择不同的滤波常数,可以得到具有不同滤波特点的低通滤波器,这为我们构造中尺度带通滤波器提供了极其有利的条件。

需要指出,上述计算方案与过去方案之差别在于本方案不再把式(1)、(4)的计算限制在规则的网格点上进行,而是可以在场空间的任一点(当然也包括网格点)单独计算。这就使我们不仅能方便地计算出网格点上的低通滤波场,而且也可独立地进行非均匀测站上低通滤波场的计算。更重要的是,在计算

$D_{(x_k, y_k)}$ 的过程中,我们不必象过去那样,先将观测资料插到网格点上,然后由格点上的 $F_{(x, y)}^{(0)}$ 值回插出测站上的 $F_{(x_k, y_k)}^{(0)}$ 值,最后才计算出 $D_{(x_k, y_k)}$ 值。显然,该方案省略了由网格资料回插到站点值的中间过程,从而消除了由网格值回插站点值引起的插值误差,并减少了计算量。由于测站数比网格点数小得多,在不需计算低通滤波场的格点资料时,我们可以用计算机或手工迅速地计算出低通滤波场的测站分布值 $F_{(x_k, y_k)}^{(1)}$ 。可见,该计算方案对计算条件较差的基层台站尤为适用。

由于低通滤波器(4)对不同的滤波常数 $c$ 和 $G$ 有不同的滤波性能,因此,我们只要选择两组合适的滤波常数 $c_1, G_1$ 和 $c_2, G_2$ ,使两个低通滤波器 $F_1, F_2$ 分别保留中尺度以上的波动信息和大尺度以上的波动信息,然后用低通场 $F_1$ 减去低通场 $F_2$ ,即得带通滤波场:

$$F_D = F_1 - F_2 \quad (8)$$

其响应函数为

$$R_D = R_{L1} - R_{L2} \quad (9)$$

式中, $R_{L1}, R_{L2}$ 分别为低通滤波器 $F_1, F_2$ 的响应函数。由此获得的结果主要保留了中尺度波段的信息,这就达到了从常规观测资料中提取中尺度气象信息的目的。

将经带通滤波处理后提取的中尺度气象信息绘制在天气图上,便可利用天气学理论和方法,分析和研究与暴雨和强对流天气相联系的中尺度系统的一些性质和特征,提高对夏季灾害性天气的预报能力。

## 2 程序设计简略框图

由于新方案与旧方案在计算过程上有所不同,因此,其程序设计思路也不相同。为了便于基层台站应用,在此我们给出新方案实施的简略流程框图(图1)。

## 3 实例分析

1989年7月9—11日,四川盆地东北部发生了一次区域性持续暴雨天气过程,强降水中心的武胜县,过程降水总量超500mm,引发山体滑坡、泥石流等严重灾害。本文以此过程为例,应用上节所述方案,对常规观测资料作滤波处理,分别获得了测站网和 $1^\circ \times 1^\circ$

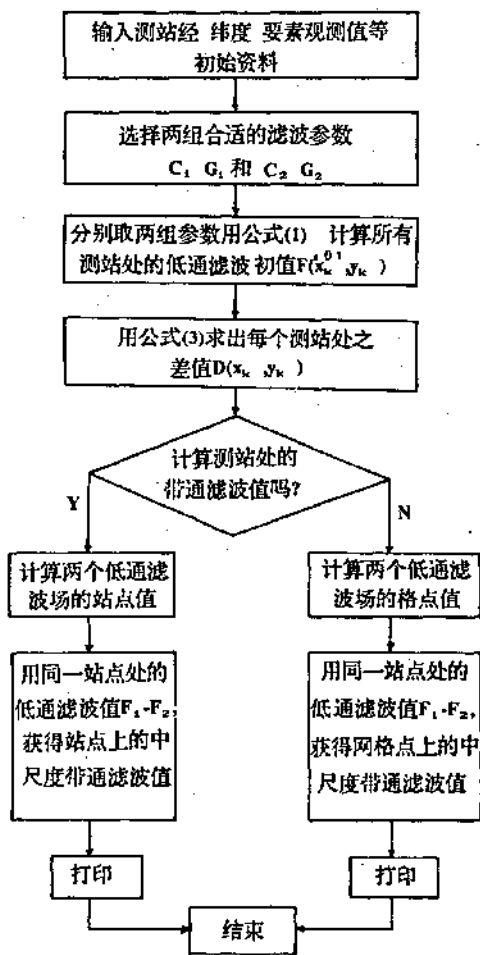


图1 流程框图

规则网格上的中尺度气象信息,揭示了与暴雨相联系的中尺度系统。

根据观测资料的密度以及此次强降水天气的尺度特征,我们取  $c_1 = 30000\text{km}^2$ 、 $G_1 = 0.3$  和  $c_2 = 150000\text{km}^2$ 、 $G_2 = 0.3$  的两个低通滤波器构造一中尺度带通滤波器  $F_D$ , 该滤波器的最大响应波长位于  $800\text{km}$ , 最大响应函数值达  $0.85$ 。由这一滤波器提取的中尺度信息主要是水平尺度为  $400\text{km}$  左右的中- $\alpha$  尺度波动。图2、图3分别是强降水天气临发生前和持续期的  $700\text{hPa}$  流场实况和中尺度流场。由图可见,在滤波获得的中尺度流场上

(图2b、c和图3b、c),未来暴雨区与中尺度气旋区十分吻合。而在混合流场上(实况流场图2a、图3a),暴雨区则并不与气旋区完全吻合。这说明用滤波方法从观测资料中提取中尺度气象信息,对进一步揭示与暴雨相联系的中尺度系统有积极意义。

对用上述滤波方案获取的测站网和  $1^\circ \times 1^\circ$  规则网格上的中尺度气象信息进行比较发现,尽管用测站网上的中尺度信息绘制的中尺度流场图(图2b、图3b)没有用  $1^\circ \times 1^\circ$  规则网格上的中尺度信息绘制的中尺度流场图(图2c、图3c)细致,但两者所表现出的流场形势是相当一致的。用测站网上中尺度信息绘制的中尺度流场图(图2b、图3b)能够清楚地反映出中尺度气旋和反气旋的中心位置及其环流的主要特征。由于该图在资料分布等方面与目前分析的天气图完全一致,因此,可方便地将它与实况天气图进行比较,并可用现有天气学原理和方法以及预报员积累的经验去分析这种特殊的中尺度天气图。

#### 4 结语

4.1 基于滤波分析场的连续性,本文将过去方案中限制在网格点  $(i, j)$  上进行计算的滤波分析公式(1)、(4)推广到包括测站点在内的场空间的任意点  $(x, y)$  上进行,使得不通过网络资料就能独立地提取出某点的中尺度气象信息。

4.2 给出的滤波计算方案省略了由网格滤波值回插站点滤波值这一不必要的中间环节,消除了计算误差,减小了计算量,提高了滤波计算结果的精度。

4.3 给出的带通滤波计算方案,使得从常规资料中提取中尺度气象信息变得简便易行,几乎不受计算条件限制。

4.4 用滤波方法从观测资料中提取中尺度气象信息,对进一步揭示与暴雨相联系的中尺度系统有积极意义。

4.5 用测站网上提取的中尺度信息绘制的中尺度流场图能够清楚、准确地反映出中尺

度气旋和反气旋的中心位置和环流特征。由于这种中尺度流场图与目前用常规资料分析

的天气图十分相似,且制作简单方便,因而特别适合于地、市级气象台在业务中应用。

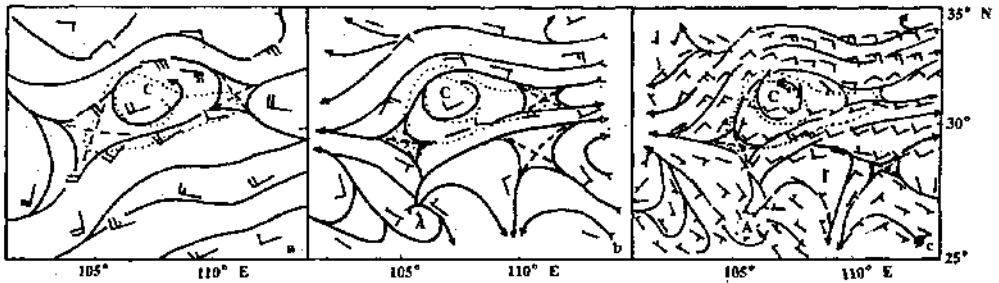


图2 1989年7月8日20时700hPa流场实况(a)、带通滤波站点中尺度场(b)、网格点中尺度场(c)  
虚线是雨量为10.50mm等值线(下同),雨量时段为20-08时

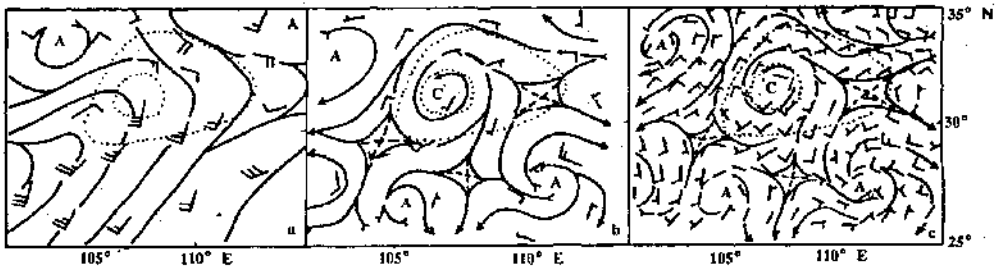


图3 1989年7月9日08时700hPa流场实况(a)、带通滤波站点中尺度场(b)、网格点中尺度场(c)  
雨量时段为08-08时

### 参考文献

- 1 陶诗言等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980, 25—34.
- 2 夏大庆等. 气象场的几种中尺度分离算子及其比较. 大气科学, 1983, 7: 303—311.
- 3 Maddox, R. A., An objective technique for separating macroscale and mesoscale feature in meteorological data. Mon. Wea. Rev., 1980, 108, 1108—1121.
- 4 党人庆. 中尺度滤波法及对中间尺度云团分析的初步应用. 气象科学, 1984, 2: 9—14.
- 5 陈忠明, 气象场中尺度带通滤波方法研究. 气象学报, 1992, 50: 504—510.
- 6 徐元泰, 丁一汇. 气象场的客观分析和中尺度滤波. 大气科学, 1988, 12: 247—282.
- 7 蔡则怡, 余波. 带通滤波在华北飑线中的应用. 气象, 1988, 14(1): 23—27.
- 8 陈忠明, 荣锦海. 青藏高原高压前部突发性局地强暴雨的初步研究. 高原气象, 1992, 11: 90—95.

## A Simple Technique of Separation of Mesoscale Form from Meteorological Data

Chen Zhongming

(Sichuan Research Institute of Meteorological Science, Chengdu 610072)

### Abstract

Based on both Barnes' filter theory and continuity of low-pass filter, a simple technique is designed separating mesoscale information from meteorological data. With this technique, station and grid values of mesoscale bandpass filter can be independently obtained from observational data. Furthermore, the technique has higher precise and quicker velocity.

**Key Words:** low-pass filter mesoscale bandpass filter mesoscale analysis