

# 一种带通滤波方法及其初步应用

党人庆

万志强

(南京大学大气科学系) (国家气象局卫星气象中心)

## 提 要

本文将 Barnes-Shapiro 类的低通滤波方法<sup>[1]</sup>作了改进,成为带通滤波分析方法,它具有较好的中尺度带通响应。用此方法对 1980 年 5 月和 6 月我国的 9 个中尺度云团个例作了地面要素场分析。结果表明,带通滤波后的场具有较明显的中尺度特征,其中有一些场的配置与 6 小时后的云团位置及强度有较好的关系。

## 一、引 言

七十年代后期以前,对于暴雨等激烈天气的研究,较多侧重于天气尺度环境方面,而对于中尺度系统的研究相对来说较少。近十年来,在国外,除了进行专门设计的中尺度外场试验(如 SESAME 等)以获得中尺度资料作研究外,还在研究如何利用常规资料(尤其是时空分辨率较高的地面观测资料)作中尺度分析的方法,由此分离出所需要的中尺度系统以及前兆特征等。

对于中尺度分析,在业务上至今主要用手工分析。这种分析的优点是分析者能够根据经验对记录加以判断作仔细考虑。但是,在记录中含有的多种尺度系统,在手工分析中是较难区分的,并且分析需时较长。

为了将中尺度系统分离出来,可以采用客观滤波方法。Shuman<sup>[2]</sup>首先提出了对网格点物理量进行平滑滤波的方法。夏大庆等<sup>[3]</sup>用类似的原理,设计了几种高通滤波器。不过,他们的方法需要先给出网格点的值。

另一类客观滤波分析方法,是对业务观测站资料取权重后,插值到格点上。在这方面, Barnes(1964, 1973)<sup>[4]</sup>提出一个含有滤波作用的客观分析方法。此后,一些学者对该方法作了改进和应用(见文献[1][5][6]等)。

本文是在文献[1]的基础上加以改进成为带通滤波方法。在应用本文方法于我国中尺度云团的分析时,参考了 Livingston(1983)<sup>[7]</sup>文中所取的一些气象要素。

## 二、方法与资料

在文献[1]中,已将 Barnes 与 Shapiro 方法组合成为一个低通滤波器。对于大气的某

一个物理量  $f$  (例如  $u, v, T, P, RH$  等中的任一个), 设它的形式为  $f(x, y) = A \sin ax$ , 其中  $A$  是振幅,  $a$  是波数。取权重函数为

$$w(r, k) = (1/4\pi k) \exp(-r^2/4k) \quad (1)$$

其中  $r$  是格点与观测站之间的距离,  $k$  是参数。在文献[4]中已证明, 取上述权重函数后得到的格点值, 它的响应函数为

$$D(a, k) = \exp(-a^2 k) = \exp(-4\pi^2 k / \lambda) \quad (2)$$

其中  $\lambda$  是波长。按照文献[1], 再用 Shapiro 方法平滑后, 响应函数为

$$D(a, k) = [\exp(-a^2 k)] [1 - \frac{1}{2}(\sin^2 \frac{\pi \Delta x}{L} + \sin^2 \frac{\pi \Delta y}{L})] \quad (3)$$

以上是低通滤波。为了得到带通滤波, 分离出中尺度波动, 本文用如下步骤。第一步是将气象要素场用 Barnes 方法作第 1 次低通滤波, 此时参数为  $k_1$ 。第二步是将原来的要素场用 Barnes 方法取参数  $k_2$  作低通滤波。第三步, 将上两步骤中先后得到的两个低通滤波场相减, 再用 Shapiro 方法平滑一次, 由此获得带通滤波场。为了得到所需波长(主要响应波长)的中尺度场, 可选取适当的参数  $k_1$  与  $k_2$ 。在本文中使最大响应的波长为 700 公里(参阅文献[7]), 取  $k_1 = 2 \times 10^3$  平方公里,  $k_2 = 3 \times 10^4$  平方公里。经过上述步骤得到的场, 它的响应函数由(3)式先后用  $k_1$  与  $k_2$  代入后再相减, 为

$$D(a, k_1, k_2) = [\exp(-a^2 k_1) - \exp(-a^2 k_2)] [1 - \frac{1}{2}(\sin^2 \frac{\pi \Delta x}{L} + \sin^2 \frac{\pi \Delta y}{L})] \quad (4)$$

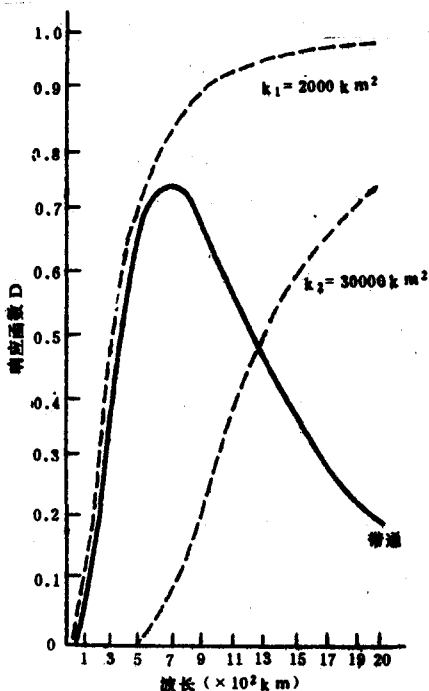


图1 响应函数与波长的关系  
虚线是低通滤波, 实线是带通滤波

图1是上式波长与响应函数  $D$  的关系, 图中虚线是先后两次低通滤波时各波长的响应程度, 实线是带通滤波时各波长的响应程度。该图显示出, 经过这样滤波, 最大响应的波长为 700 公里左右。该图也表明, 使用这种“差值双低通的带通滤波器”, 对于各个波长的振幅都有削弱, 其中对于所需波段削弱最少, 保留原振幅 0.7 以上。为了使计算输出结果便于分析, 对上述步骤得到的场乘以恢复系数, 以使所需波段的最大响应函数值达到 1。经过这样滤波后, 如文献[7]中所述, 这时格点上的带通值主要具有相对意义。

本文分析了温度、露点、相当位温、风的分量、散度和涡度等地面气象要素及导出的物理量。在分析时, 水平网格距取 45 公里, 格点数为  $21 \times 21$  个。地理范围为  $110^\circ\text{E} - 119^\circ\text{E}, 27^\circ\text{N} - 35^\circ\text{N}$ 。在这范围内, 有 100 个左右的地面观测站。地面资料取自出版的 1980 年 5 月与 6 月地面天气月

报,结合同时期的 GMS 卫星云图,对于有剧烈天气的时次作了分析。天气形势和实况参考了中央气象局出版的历史天气图以及日本出版的天气图。

### 三、应 用

根据美国一些学者的研究,用 Barnes 类方法对地面要素场作分析,可具有一定的预报意义。例如 Ogura<sup>[8]</sup>以及 Livingston<sup>[7]</sup>的工作。在本文工作中,用第二节的方法,分析了我国云团的一些个例,它们是 1980 年的 9 个时次:(1)5 月 31 日 02 时;(2)6 月 5 日 14 时;(3)6 月 5 日 20 时;(4)5 月 31 日 08 时;(5)6 月 16 日 20 时;(6)6 月 17 日 20 时;(7)6 月 23 日 14 时;(8)6 月 23 日 20 时;(9)5 月 23 日 20 时。在这些时次里,都有不同程度的大雨或暴雨。为了便于描述,以下采用我们在计算程序中的符号,即 GPE 场表示相当位温  $\theta_e$  场,CTE 场表示  $\theta_e$  的辐合场,CVG 场为风的辐合场,VORT 为涡度场,GPT 为温度场。其中 GPT 是低通场,其余都是带通场。在图中描出的云团位置,除了特别说明之外,都指在要素场之后的 6 小时的位置。时间都用北京时。以下是将本文方法应用于 1980 年 5 月 31 日 02 时的情况。

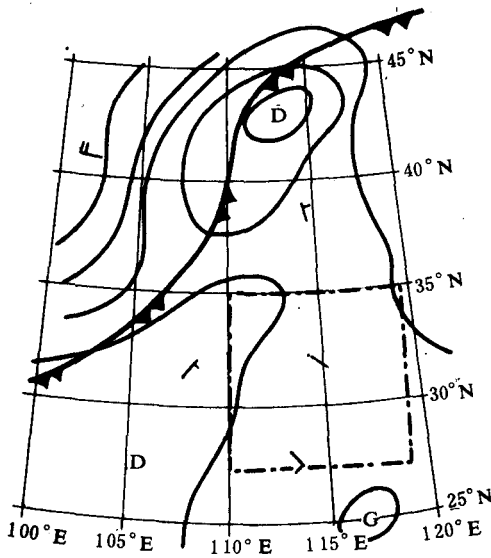


图 2 1980 年 5 月 30 日 08 时地面天气图

图 2 是 5 月 30 日 08 时地面天气图,该图表明我们分析计算区域(以下简称分析区)的大部份地区是弱低压区,风速小,处在暖区内。同一时次的 850 百帕图(图略)上,我国西南地区暖式切变线的东端已伸入分析区的西部。

它正处于 500 百帕青藏高原低槽前部。以后此槽移出高原,与它相配合的 850 及 700 百帕的切变线一起东移入分析区,为分析区西部产生强烈对流天气提供了大尺度背景条件。

31 日 02 时,在分析区西部出现了一个中间尺度云团。到了 31 日 08 时的卫星云图上,有两个强对流中心,一个约位于 29°N,111.5°E,另一个中心约位于 30°N,114°E(图略)。

在低通温度场和带通涡度场中(图略),等温线较稀疏,无锋区存在,这和地面图的分析是一致的,表明低通场反映了大尺度特征。同时,带通涡度场显示出较明显的中尺度特征。东面一个云团位于一正涡度中心内。

图 3 是 GPE 场与 TDD 场。TDD 场是温度露点差的  $x$  与  $y$  方向梯度分量之和,这是参考了 Livingston(1983)的工作而选用的一个表示暖湿梯度的半经验场。图中表明,两个云团中心分别位于或靠近暖湿中心,同时也在 TDD 轴线附近。这表明 GPE 场及 TDD 场轴

线交点与6小时后的云团位置有一定的关系。

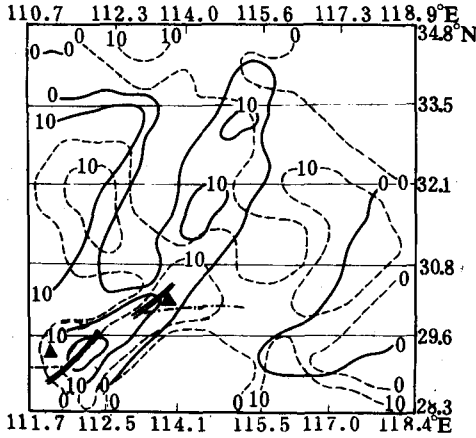


图3 5月31日02时 $\theta_e$ 与TDD场  
 实线为TDD等值线,虚线为 $\theta_e$   
 即GPE等值线,双线为TDD轴  
 线,▲为08时云团中心位置

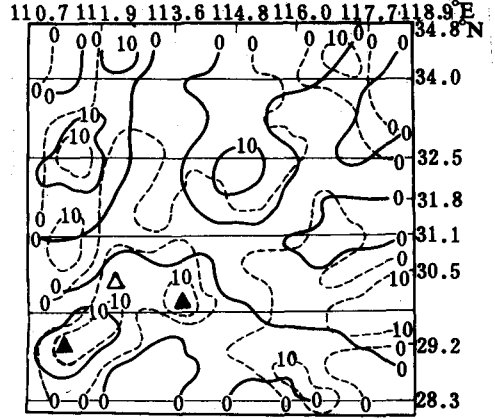


图4 5月31日02时CTE及CVG场  
 实线为辐合场(CVG),虚线为 $\theta_e$ 辐  
 合场(CTE),▲为08时云团中心位  
 置,△为当时(02时)云团位置

图4是带通辐合场CVG及相当位温辐合场CTE。该图表明,左边一个云团位置对应的是CVG及CTE中心。右边一个云团位于等值线数值为10的VORT(图5)及CTE中心。因此,在带通场中,GPE轴线和TDD轴线交点附近有CTE, CVG或VORT(至少是三者之二)的中心,对6小时后的云团位置有前兆意义。除了有台风的一个个例外,其它8次都有此特征。这种特征的示意图见图6。

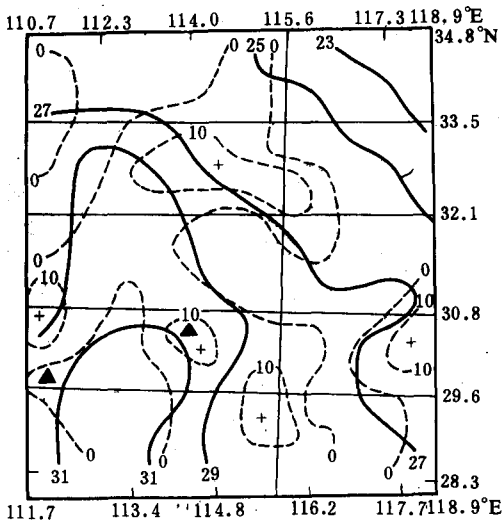


图5 5月31日02时VORT及湿度场  
 实线为湿度场,虚线为涡度VORT场,  
 ▲为08时云团位置

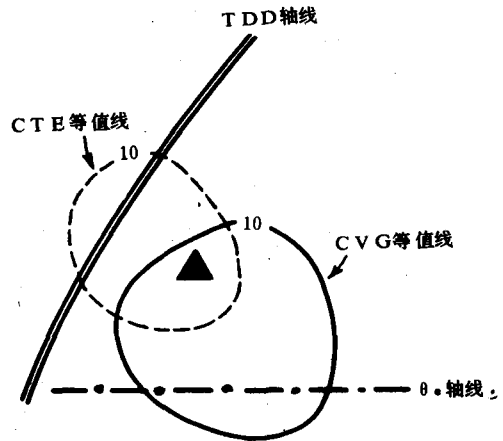


图6 TDD与 $\theta_e$ 轴线相交线,以及  
 CVG,CTE或VORT与6小时后  
 云团位置(▲)的配合示意图

此外,将带通滤波场与同时时间的云团位置比较,云团位于辐合区内,但不在辐合中心内,见图4。即带通后的辐合中心与云团在6小时后的位置比当时的关系更明显一些。

#### 四、小 结

本文对 Barnes-Shapiro 滤波方法(低通)改进成为中尺度带通滤波方法。对它的响应函数讨论表明,它的中尺度带通响应是好的,中心最大响应值在0.7以上,而且峰度较大。将此方法应用于1980年5至6月的9个云团例子,其中8例有如下特征:它们的带通滤波场具有较明显的中尺度形态,并且,有几种物理量场的配置与6小时后的云团位置及强度有如下的关系:

(1)6小时后的云团中心位置一般位于暖湿梯度(TDD)轴线与相当位温(GPE)轴线的交点附近,并且在该区有辐合场(CVG)、涡度场(VORT)或相当位温辐合场(CTE)三者(至少三者之二)的中心相配合。

(2)如果 CVG、VORT 或 CTE 场在暖湿梯度轴和  $\theta_e$  轴交点附近配合得不好或不存在正值中心,则6小时后云团将减弱或消散。

(3)如果 TDD 轴线与  $\theta_e$  轴线交点附近 CVG 场、VORT 场和 CTE 场都有中心配合;或者有其中两个场的中心配合在一起,强度较大,则6小时后云团将加强。

上述结果,与文献[7]的结果有部份一致,也有部份不同。此外,作为另一类大尺度背景,当有台风直接影响时,上列关系不再适用,这是上述9例中的1例。对于这种有台风直接影响的类型,有待今后作进一步研究。

#### 参 考 文 献

- [1] 党人庆,中尺度滤波方法及对中间尺度云团分析的初步应用。气象科学,第2期,1984年。
- [2] Shuman, F. G., Numerical methods in weather prediction: I I. Smoothing and filtering. *Mon. Wea. Rev.*, **85**, 357—361. 1957.
- [3] 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, **7**, 303—311. 1983.
- [4] Barnes, S. L., Mesoscale objective map analysis using weighted time-series observations. NOAA Technical Memorandum ERL, NSSL-62. 1973.
- [5] Maddox, R. A., An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. *Mon. wea. Rev.*, **108**, 1108—1121. 1980.
- [6] Doswell, I I I. C. A., Obtaining meteorologically significant surface divergence fields through the filtering property of objective analysis. *Mon. Wea. Rev.* **105**, 885—892. 1977.
- [7] Livingston, R. L., and L. F. Wilson, On operational band-pass filtering of hourly surface data. 13th Conf. on Severe Local Storms, 253—256. 1983.
- [8] Ogura, Y., H. M. Juang, K. S. Zhang and S. T. Soong, Possible triggering mechanism for severe storms in SESAME-AVE I V. *Bull. A. M. S.*, 503—515. 1982.

## A BANDPASS FILTERING METHOD AND ITS PRELIMINARY APPLICATION

Dang Renqing

*(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University)*

Wan Zhiqiang

*(Satellite Meteorological Center, SMA)*

### Abstract

A low-pass filtering method of Barnes-Shapiro's type has been improved to obtain a band-pass filtering method, which has the good response to the selected mesoscale wave length.

This method has been applied to analyze meteorological fields for nine cases of mesoscale cloud cluster over South China in May and June, 1980. The results show that the filtered fields are obviously of the mesoscale nature. The distributions of the fields of several elements are related to the locations and intensities of the cloud clusters six hours later.