

$$\text{ctg}(k\delta/2) = 1, F(\pi/2\delta) = (1 + \epsilon)^{-1}$$

即当 $k = 2\pi/4\delta, \epsilon = 1$ 时, 所有曲线的响应函数值均等于 0.5。根据波数的定义, 此时, k 对应于波长为 4 倍格距的波。Raymond^[2] 也给出 $2p = 6$ 时不同 ϵ 值对应的振幅响应曲线 (图 1)。从图中可见, 随着 ϵ 值的减小, 被滤去的波的波长越长。因此, 选定了 $2p$ 值, 只要调节 ϵ 值的大小, 即可有效地保留所需要的波。与几种其他滤波方案^[1] 进行比较, Shuman-Shapiro 方案是其中最好的一种滤波方案, 但是与图 1 中 B 曲线相比, 在长波部分, 不如 B 曲线效果好。以 4 倍格距波 ($k\delta/\pi = 0.5$) 为例, Shuman 曲线和图 1 中 B 曲线的响应值都为 1 左右, 但是当波长为 10 倍格距时, 对应图 1 中横坐标 $k\delta/\pi = 0.2$, Shuman 方案中的响应函数值约为 0.3, 而图 1 中 B 曲线则为 0.1 左右。对于要滤去的长波部分, 双高法更彻底一些。

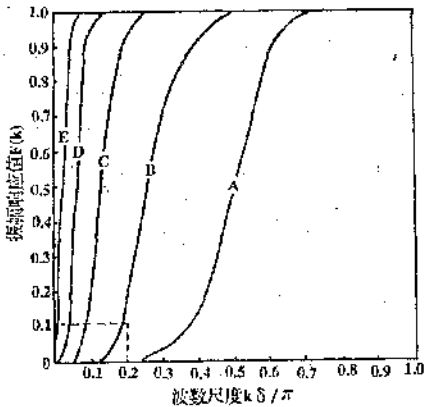


图 1 6 阶滤波器的振幅响应值与波数尺度的关系图

曲线 A、B、C、D、E 对应的 ϵ 值分别为 1、 10^{-2} 、 10^{-4} 、 10^{-6} 、 10^{-8}

2 试验方案

下面说明本文所用的方案。设序列为 $\{u_n; 0, 1, 2, \dots, N\}$, 为减少舍入误差, 令

$$u_n^F = u_n + \Phi_n \quad (3)$$

代入方程 (1), 得到

$$(-1)^i [L^{2p}] \Phi_n + \epsilon [S^{2p}] \Phi_n = -\epsilon [S^{2p}] u_n \quad (4)$$

本文取 $2p = 6$ 。则方程 (4) 中第 i 列 ($3 < i < N - 3$) 可表示如下,

$$\begin{aligned} (1 - \epsilon)(\Phi_{i-3} + \Phi_{i+3}) - 6(1 + \epsilon)(\Phi_{i-2} \\ + \Phi_{i-2}) + 15(1 - \epsilon)(\Phi_{i-1} + \Phi_{i+1}) \\ - 20(1 + \epsilon)\Phi_i = \epsilon[(u_{i-3} + u_{i+3}) \\ + 6(u_{i-2} + u_{i+2}) + 15(u_{i-1} \\ + u_{i+1}) + 20u_i] \quad (5) \end{aligned}$$

$(3 < i < N - 3)$

在边界上采用反射边界条件, 即在 $i = 0$ 的边界附近令

$$\begin{aligned} \Phi_{-1} = \Phi_1, \Phi_{-2} = \Phi_2, \Phi_{-3} = \Phi_3, \\ u_{-1} = u_1, u_{-2} = u_2, u_{-3} = u_3 \quad (6) \end{aligned}$$

对于另一边界 $i = N$, 有类似公式, 考虑计算公式 (5), 可得 $i = 0$ 时,

$$\begin{aligned} -10(1 + \epsilon)\Phi_0 + 15(1 - \epsilon)\Phi_1 \\ = 6(1 + \epsilon)\Phi_2 + (1 + \epsilon)\Phi_3 \\ = \epsilon(10u_0 + 15u_1 + 6u_2 + u_3) \quad (7) \end{aligned}$$

同理可得 $i = 1, 2$ 及另一边界上 $i = N, N - 1, N - 2$ 的计算公式。

双高法是一维滤波, 每次只能一列一行地进行。对于二维以上的要素场, 我们只需要先做一维滤波, 再用过滤后的场作为原始场做另一维。直到每维都经过过滤, 最后即得过滤场。

3 个例分析

3.1 资料

采用 1991 年 7 月 5 日、6 日 00 时, 格距为 1° 的客观分析场, 格点数为 41×76 ; 用双高法分别对 5、6 日 850hPa, 700hPa, 500hPa 高度场、风场在有限区域内进行尺度分离。下面只给出 6 日 700hPa 的结果。

3.2 参数选取

从 Raymond^[2] 的图 1 看, 当 $2p = 6, 8, 10$ 时, 响应函数的选择性都较好, $2p$ 越大, 响应函数值的差别越小, 但计算量大, 因此在本例中, 令 $2p = 6$ 。

对于 ϵ 值的选取, 与所滤的尺度有关。

图 2 给出 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格的客观分析场。7 月 6 日 700hPa 上西南涡略偏东, 中心较弱。

长江中下游与黄河中游之间有弱辐合气流, 渤海上空为高压脊控制。本实验主要希望将大陆上中- α 尺度系统与背景场分离开。从图 2 可见, 中纬度高低压系统的尺度约对应波长为 19 倍格距的波。根据式(2)可知: 若令该波的响应函数值为 0.9, 则 ϵ 值取为 2.4×10^{-5} 。

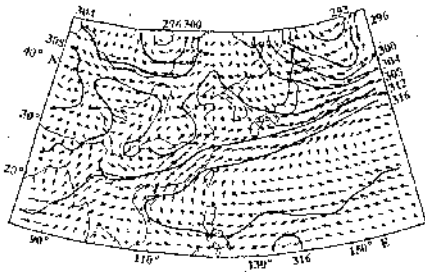


图 2 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格 7 月 6 日 00 时 700hPa 客观分析场
高度场等高线间隔 $4 \times 10 \text{gpm}$; 每两个格点绘一个风矢量

3.3 结果分析

图 3、4 分别是 700hPa $1^\circ \times 1^\circ$ 网格的中尺度场和大尺度场。从图 3 看, 长江中下游地区的低压分离得很清楚, 它与西南地区的中尺度低压一起控制了长江中下游附近, 最低值大约位于 27°N 、 104°E 的位置。河套以西的高压区对应图 2 河套西部的高压脊及 90°E 以西的高压。大尺度场上风场与高度场基本上符合地转风关系, 急流区域较客观地体现

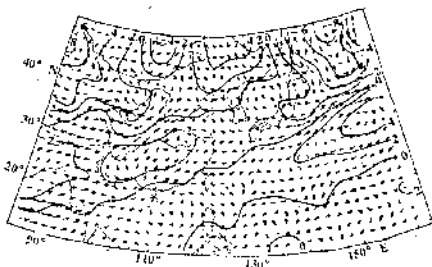


图 3 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格 7 月 6 日 00 时 700hPa 中尺度场
等高线间隔 $2 \times 10 \text{gpm}$; 每两个格点绘一个风矢量

了急流运动的大尺度特征。从图 3 上还可发现, 在 $30^\circ\text{--}35^\circ\text{N}$ 、 $100^\circ\text{--}110^\circ\text{E}$ 区域附近有扰动风速大值区。等压线密集, 风压关系较合理。而在图 2 上该地区等压线较疏, 风向零乱, 风速较小。这一点说明, 滤波器虽然是对不同要素场的作用, 但这两个场却配合得很好。

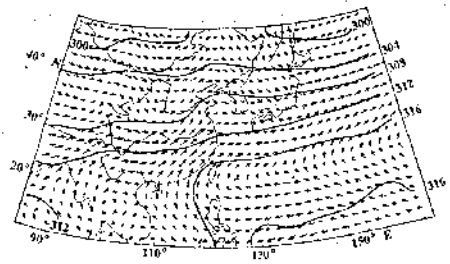


图 4 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格 7 月 6 日 00 时 700hPa 大尺度场
等高线间隔 $4 \times 10 \text{gpm}$; 每两个格点绘一个风矢量

风场的中尺度系统更清楚一些, 为此分析了流线图(见图 5, 矢量只表示风速方向, 未表示出大小)。图中气旋、反气旋系统都与图 3 中高低压相配合, 并可分析出一些尺度较小的环流。

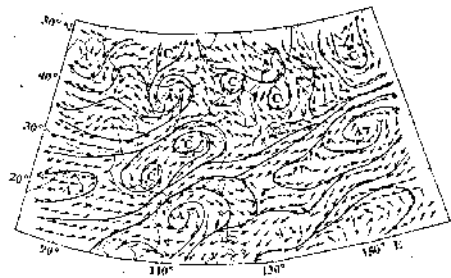


图 5 7 月 6 日 00 时 700hPa 中尺度流线图
和实线为切变线

图 6 为 5 日 00 时至 6 日 00 时 24 小时雨量图, 雨区还与图 5 的气旋性环流系统或气流辐合区配合很好。长江中下游暴雨区与这一带的气旋环流及东海的切变线有关。有趣的是气旋有两个中心, 暴雨中心也分为两个, 一个中心大于 100mm, 在汉口、钟祥一

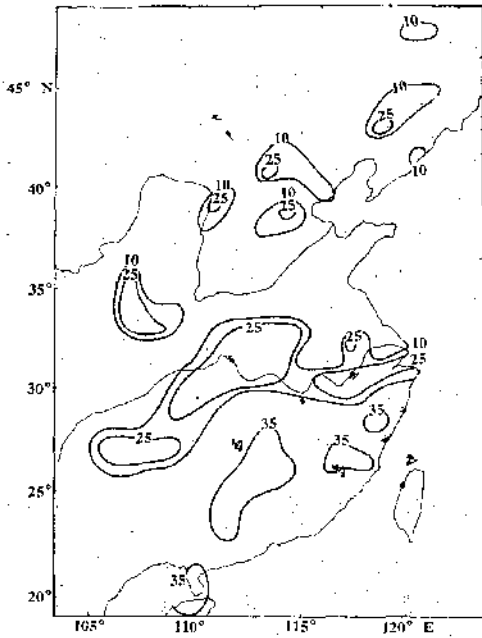


图6 5日00时至6日00时降水量实况带;另一个中心大于50mm,在贵阳、芷江之间,与气旋中心十分吻合。朝鲜半岛以北有一尺度较小的气旋环流,我国东北也有一片雨区。河套以西有一片雨区,这里也正好有明显的辐合气流。图2上副热带高压一直西伸到海南岛,滤波后的流场上有两个反气旋环流

中心,在海南岛东侧的反气旋环流十分清楚,我国华南、华东出现的35℃以上高温区可能就是受此反气旋环流的影响。总的来说,双高法分解出的中尺度系统清楚,能够较好地与天气实况相吻合。

4. 结论

4.1 采用反射边界条件的双高法可使边界附近的虚假短波增幅受到抑制。

4.2 调节参数 $2p$ 和 ε 的值可滤去任意不需要的波。

4.3 可以有效地分离尺度,分离出的系统清晰。风场的效果更好,与天气现象十分吻合。

4.4 调整参数可滤去二倍格距波,可用于要素场的平滑。

致谢 本文在完成过程中邓京涛同志提供了客观分析资料,在此表示感谢。

参考文献

- 1 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(3).
- 2 William H. Raymond. High-Order Low-Pass Implicit Tangent Filters for Use in Finite Area Calculation. Mon. Wea. Rev., 1988, 2132-2141.
- 3 William H. Raymond. High-Order High-Pass Implicit Filters for Evaluating Information with Finite Area. Mon. Wea. Rev., 1989, 2772-2781.

A High-Order High-Pass Implicit Filter and Its Application

He Zuwen

(Geophysical Department, Peking University, 100871)

Abstract

In this study, a high-order high-pass implicit filter, with reflective boundary conditions, is introduced. The sharpness of the filter response with much lower orders allows high qualitative filtering at the lateral boundary. This makes it superior to the traditional filters.

A case is tested in this paper. Under proper choice of orders and parameters, the outstanding results show that the filter not only does separate scales efficiently, but also matches different element fields well.

The filter is a useful tool in evaluating meteorological fields.

Key Words: high-order high-pass implicit filter mesoanalyses test