

曲面拟合客观分析方法中的滤波特性

王双一
(总参气象局)

提 要

在一般区域上使用曲面拟合的方法进行客观分析时,所得的客观分析场具有良好的低通滤波效果。通过对比分析发现,使用曲面拟合的客观分析方法,其滤波结果能够较好地体现出中尺度环流系统与实际天气的对应关系。

一、引 言

在诊断分析研究中,时常涉及到气象要素场的客观分析和滤波问题。目前使用的客观分析方法主要有最优插值方法^[1]和逐步订正法^[2]。我们客观分析的目的主要是把分布不均匀的台站资料内插到规则分布的网格点上,便于使用有限差分的方法来计算所需要的导数和梯度。曲面拟合也是客观分析中可用的一种,把观测值与关于 (x, y) 的某种函数拟合,得到一个拟合方程,将该方程对 x 或 y 直接求微分,更便于得到某一物理量场的导数和梯度。在文献[3]中 Nitta, T. 使用曲面拟合方法,提出了高原地区的收支计算方法,在文献[4]中提出了在资料比较稀少的热带海洋或高原地区,在很难得到准确的网格点资料的情况下,一般采用曲面拟合的方法来获取网格点资料。

对于滤波方法,Shuman^[5]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^[6]用类似的原理,设计了几种高通滤波器,所有这些方法都必须以物理量的网格点值为基础。Barnes^[7]提出了一个含有滤波作用的客观分析方法,该方法对业务观测资料取权重后,插值到网格点上。该方法的优越性在于,根据权重的取值不同,就可以得到不同尺度系统的客观分析场。该方法在国内外得到了广泛应用, Maddox^[8]曾用此方法研究了中尺度对流复合体(MCC)的演变和结构,徐元泰等^[9]也用此方法作了中尺度滤波的研究,取得了较好效果。

本文在一般区域上使用曲面拟合,在有限区域内,仅作一个曲面拟合进行客观分析,通过对所得的有限区域内的客观分析场的研究发现,这种在有限区域内进行曲面拟合的客观分析方法具有良好的低通滤波效果。这种方法比 Barnes^[7]的方法更能直接方便地得到所需尺度系统的客观分析场。

二、曲面拟合的滤波原理及滤波器的设计

曲面拟合方程一般可以表征为:

$$\hat{F} = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + \dots + b_my^L \quad (1)$$

在(1)式中 x, y 为横向和纵向坐标, $m = (L+1)(L+2)/2 - 1$, 系数 b_0, b_1, \dots, b_m 由

$$Q = \sum_{i=1}^n (F_i - \hat{F}_i)^2 = \min \quad (2)$$

确定。(2)式中, n 为分析区域 D 内所包含的测站个数, F_i 和 \hat{F}_i 分别为第 i 个测站上的实测值及方程(1)的拟合值。

由多项式函数的基本性质可知, (1)式的 L 次拟合函数, 在区域 D 内至多能拟合出 $L-1$ 个高低值系统。由于区域 D 在取定后是不变的, 多项式次数 L 越大, (1)式在区域 D 内所拟合出的系统越多, 则所能拟合出来的系统尺度将越小; 反之亦然。在取定区域 D 的情况下, 使用有限的 L 次多项式对气象要素场作拟合, 所得的拟合场 \hat{F} 中, 只可能包含有各种尺度较大的系统, 而包含在原气象要素场中的尺度较小的系统不可能在拟合场 \hat{F} 中得以体现。这就是曲面拟合客观分析方法中的低通滤波原理。

设 S_D 为区域 D 内的最大直线距离, 记

$$L_c = S_D / (L - 1) \quad (3)$$

根据使用曲面拟合的客观分析方法进行各种滤波的经验, (1)式所表示的 \hat{F} 场中所包含的各种系统的尺度一般都大于等于 L_c 。也就是说, \hat{F} 场中只包含有原 F 场中的尺度大于等于 L_c 的各种尺度系统。根据曲面拟合客观分析方法中的滤波原理和尺度估计经验公式(3)式, 则按照如下步骤实施各种滤波。

1. 高通滤波。设要滤去波长大于等于 S_c 的所有低频波, 根据(3)式求出(1)式中的多项式次数 $L = S_D / S_c + 1$, 根据(1)式所求出的 L 次曲面拟合场 \hat{F} 和原气象要素场 F , 那么 $(F - \hat{F})$ 即为所需的高通滤波场。必须指出的是, 这种高通滤波场无法是规则的网格点场, 而是同原始资料场分布在各测站上的高通滤波场。

2. 低通滤波。设需滤去波长小于 S_c 的高频波, 根据(3)式求出(1)式中多项式次数 $L = S_D / S_c + 1$, 根据(1)式所求出的 L 次曲面拟合场 \hat{F} , 即为所需的分布于规则网格点上的低通滤波场。

在 1. 和 2. 中, 必须要求 L 为整数, 而根据(3)式所求出的 L 不一定是整数, 这可以根据实际需要将 L 取得稍大一点或者稍小一点。

3. 带通滤波。设要求滤出波长在 S_{c1} 和 S_{c2} 之间的所有尺度系统, 其中 $S_{c1} > S_{c2}$ 。根据(3)式求出 L_1 和 L_2 , $L_1 = S_D / S_{c1} + 1$, $L_2 = S_D / S_{c2} + 1$, 根据(1)式所求出的 L_1 次和 L_2 次曲面拟合场 \hat{F}_1 和 \hat{F}_2 , 那么 $(\hat{F}_2 - \hat{F}_1)$ 即为所要的分布于规则网格点上的带通滤波场。在这里, L_1 和 L_2 必须是整数, 取法同 1. 和 2., 但必须注意的是, 要使 $L_2 - L_1 \geq 1$ 。

在这里应该说明的是, 对于区域 D 所取的范围大小, 应该充分考虑到所研究系统的尺度大小, 对于高通滤波来说, 应该满足 $S_D \geq S_c$; 对于低通滤波来说, 应该使 $S_D > S_c$; 而对于带通滤波来说, 则应该使 $S_D \geq S_{c1}$ 。这只是考虑区域 D 所取大小的一个因素, 另外还必须

满足,在所取的区域 D 内所包含的测站个数 n 必须大于 m , 其中 $m = (L+1)(L+2)/2 - 1$, L 为所要进行曲面拟合的多项式次数。

三、滤波实例

在文献[9]中,徐元泰等使用高斯权重滤波法对 1983 年 7 月 14 日 08 时的个例进行了中尺度和次天气尺度系统的滤波试验,本文使用曲面拟合方法对同一个例进行滤波试验,并将滤波结果和文献[9]中的滤波结果进行比较。

曲面拟合的范围取为 $(90^{\circ}-135^{\circ} \text{E}, 25^{\circ}-55^{\circ} \text{N})$, 根据前述的滤波方法,图 1a 和图 2a 分别为 9 次曲面拟合场与 6 次曲面拟合场之差所得的带通滤波场。



图 1 1983 年 7 月 14 日 08 时(北京时间)中尺度滤波后 850 hPa 流场

(a) 曲面拟合方法所得结果 (b) 引自文献[9]

(斜线区为雨区,数字为 24 小时降水量)

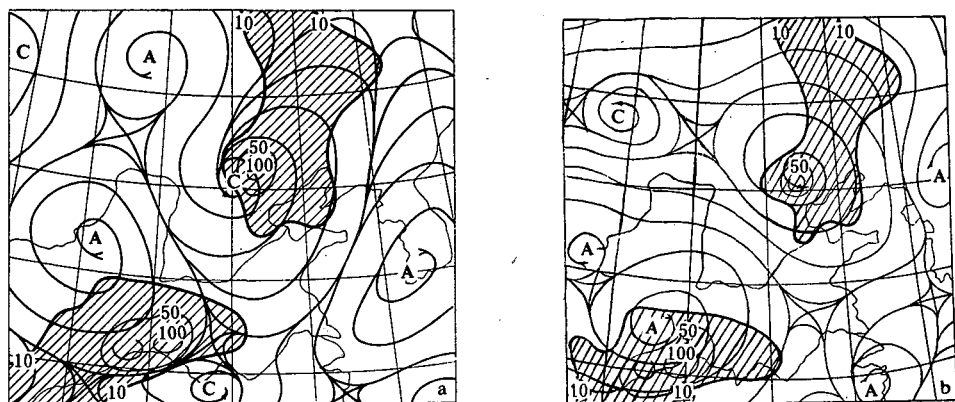


图 2 同图 1(200 hPa 流场)

(其它说明同图 1)

这两个滤波场均能滤出水平尺度为 800 km 左右的中尺度系统。

1983 年 7 月 14 日前后,有两个暴雨中心,一个在华北—东北这个深厚气旋中心的右下方,另一个在重庆附近。在 850 hPa 上,曲面拟合的滤波结果(图 1a)表明,在 120° E 附近的原南北走向的气旋性环流带内滤出了一个中尺度气旋,在北部原气旋区内也滤出了一个中尺度气旋,北部雨带位于这两个中尺度气旋性环流区内和两个气旋性环流区之间的中性区内。这说明,北部雨带的形成与这南北走向的由中尺度系统组成的气旋性环流带中的低层辐合抬升作用是分不开的。对于重庆附近的暴雨区,其处于反气旋环流区和气旋性环流区之间的中尺度辐合带内,这说明,重庆附近暴雨的形成,低层的中尺度环流的辐合抬升起了非常重要的作用。高斯权重法所得的滤波结果(图 1b)表明,北部部分雨带、特别是暴雨区位于北部中尺度气旋性环流区南部的弱辐散区内,这一滤波结果无法看出低层的辐合抬升对北部雨带形成的作用。而重庆附近的暴雨区位于图 1b 中的中尺度反气旋环流区的南部和中尺度气旋性环流区的北部,部分暴雨区落在反气旋环流的辐散区内,对于重庆附近暴雨的形成,在图 1b 中也看不出有明显的低层中尺度环流的强辐合抬升作用。在 200 hPa 上(图 2),对于北部雨带,两种方法的滤波结果,在雨区上空都对应着一个中尺度气旋性环流,这说明北部雨带的形成是与原深厚的气旋系统的作用是分不开的。对于重庆附近的暴雨区,在图 2a 中,其位于中尺度反气旋环流区内和反气旋环流南缘的辐散区内,在图 2b 中,其雨带位于中尺度反气旋性环流区内。从流线辐散来看,图 2a 中雨区上空的高层辐散强于图 2b 中的辐散。在文献[9]中,指出了重庆附近的暴雨系统极象中尺度对流辐合体(MCC)的结构。根据 MCC 的结构特点,上升运动区在整个 MCC 的左侧,高层为强辐散,从这一点上讲,曲面拟合方法的滤波结果比由高斯权重法所得的滤波结果更能反映出重庆附近暴雨系统的 MCC 结构特点。

综上所述,通过对 1983 年 7 月 14 日 08 时的环流场个例进行滤波分析比较,可以看出,使用曲面拟合的滤波方法可以得到较好的滤波效果,曲面拟合滤波方法的中尺度滤波结果能够较准确地反映出中尺度环流系统对暴雨形成的作用特点。

四、结 语

根据以上的论述,我们可以看出,对于诊断分析来说,使用曲面拟合的客观分析方法,其优越性不仅在于能够方便地得到在各种规格网格点上的客观分析场和计算出各种导数和梯度,而且在得到客观分析场的同时,能够直接方便地获得各种要求的滤波场,这是其它许多方法所不能比拟的,曲面拟合客观分析方法中所具有的良好直接低通滤波特性,无疑将对诊断分析研究工作起到良好的作用。

由于目前计算机客观条件的限制(一般为 32 位),在使用曲面拟合方法进行客观分析和实施滤波时,不能将分析区域 D 取得过大。由于区域 D 取得越大,由计算机所能精确求得的多项式次数 L 就要相应地取得小一些。当多项式次数取得过小时,就有可能影响客观分析的精度和有可能使滤波无法达到预期的目的。这是在使用曲面拟合客观分析方法时应该加以充分注意的。

参 考 文 献

- [1] Гандин, Л. С. , об' объективный анализ метеорологических полей, Гидрометеоиздат, 1963.
- [2] Cressman, G. P. , An operational objective analysis system, *Mon. Wea. Rev.* **87**, 367—374, 1959.
- [3] Nitta, T. , Heat budget analysis during the summer monsoon, *Jour. of Meteor. Soc. , of Japan*, **61**, 590—605, 1983.
- [4] 丁一汇, 天气动力学中的诊断分析方法, 气象出版社, 20—32, 1989 年.
- [5] Shuman, F. G. , Numerical methods in weather prediction: II. Smoothing and filtering. *Mon. Wea. Rev.* , **85**, 357—361, 1957.
- [6] 夏大庆等, 气象场的几种中尺度分离算子及比较, 大气科学, **7**, 303—311, 1983.
- [7] Barnes, S. L. , Mesoscale objective analysis using weighted time-series observations, NOAA, Technical memorandum ERL NSSL—62, 1972.
- [8] Maddox, R. A. , An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data, *Mon. Wea. Rev.* , **108**, 1108—1121, 1980.
- [9] 徐元泰等, 气象场的客观分析和中尺度滤波, 大气科学, **12**, 274—282, 1988.

THE FILTERING TECHNIQUE WITH THE CURVED SURFACE FITTING OBJECTIVE ANALYSIS METHOD

Wang Shuangyi

(*Meteorological Bureau, Headquarters of the General Staff, PLA*)

Abstract

The objective analysis fields obtained using the curved surface fitting in an area have a good property of direct low-pass filtering. In comparison with the other filtering results, it is found that its filtering results are better, and have a considerable corresponding relationship between the mesoscale circulation systems and the weather conditions.