

MCS 的形态特征和外推预报^①

王登炎

(武汉中心气象台, 武汉 430074)

提 要

对红外卫星云图进行图象处理之后,对 MCS 的边界廓线进行傅里叶展开,求得其形态特征。利用形态特征的保守性,得到 MCS 的移动矢。以此对 MCS 的移动作外推预报,结果表明,准确率比目测判别要高。

关键词: MCS 形态特征 外推预报

引 言

卫星云图上的 MCS (Mesoscale Convective System) 是春夏两季常出现的中尺度对流系统,其所到之处,常常会造成暴雨、强对流等灾害性天气。MCS 移动路径的预报,对于准确预报暴雨、强对流的落区是十分重要的,其中最重要的是 MCS 移动的跟踪技术。雷达回波跟踪的多种方法可作为借鉴。较常用的方法是相关分析方法,此法人为因素较少,但由于相关系数大小与回波中样本排列顺序密切相关,在跟踪非均匀流场中的某一块回波时往往有较大误差,也可用矩不变量法进行跟踪^[1]。但此法较复杂,运算量较大,不利于实时外推。为此,作者提出用形态特征来判别云团^[2],取得了较好的效果。

本文在上述结果的基础上,用形态特征来识别,不同时刻的中尺度对流系统(MCS)及其移动矢,然后用 2 幅和 3 幅云图的线性外推法来预报 MCS 在未来 3~6 小时的位置。这对应用数字化云图资料作暴雨、强对流客观预报有一定的意义。

1 MCS 的形态特征

1.1 形态特征简介

设 MCS 边界廓线的参数方程为:

$$U(t) = X(t) + iY(t) \quad (1)$$

其中 $U(t)$ 是一个以 2π 为周期的周期函数,对其进行傅里叶展开:

$$\begin{aligned} U(t) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{-int} \\ &= P_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [P_n e^{-int} + P_{-n} e^{int}] \\ 0 &\leq t \leq 2\pi \end{aligned} \quad (2)$$

式中,傅里叶系数 P_n 为:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U(t) e^{-int} dt \\ n &= 0, \pm 1, \pm 2, \end{aligned} \quad (3)$$

上述傅里叶系数 P_n , 完全描述了边界廓线的形态特征,也就是 MCS 的形态特征。但 MCS 是在演变过程中的,其大小、方向、位置会改变,傅里叶系数 P_n 也随之改变,不具备跟踪 MCS 的能力。选择一组参量来作为形态特征量:

① 圆形度

$$F_1 = \frac{|P_1|}{\sum_{n=1}^{\infty} (P_n + P_{-n})} \quad (4)$$

② 细长度

$$F_2 = \frac{|P_1| - |P_{-1}|}{|P_1| + |P_{-1}|} \quad (5)$$

① 中国气象局科技项目“三峡坝区降水和暴雨天气预报方法开发研究”资助。

③ 散射度

$$F_3 = \frac{S^2}{4\pi A} = \frac{S^2}{4\pi^2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} n |P_n|^2 - |P_{-n}|^2 \right]} \quad (6)$$

④ 凹度

$$F_4 = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} n^3 [|P_n|^2 - |P_{-n}|^2]}{|P_1|^2 - |P_{-1}|^2} \quad (7)$$

⑤ 形心偏差度

$$F_5 = \frac{|P_{01} - P_{02}|}{|P_1|^2 - |P_2|^2} \quad (8)$$

上述5组参量是守恒的,即不随MCS的大小、位置、方向的改变而改变,可以很好地跟踪MCS。

以上参量中,一般 n 取5即可满足要求,即用5阶傅里叶级数即可较真实地反映MCS的形态特征。

1.2 资料的处理

卫星云图上的MCS往往与其它云系混淆在一起,为跟踪这些MCS,必须将MCS从其它云系中分离出来。对流云在云图上的色调是最白、最亮的,因此用一定的阈值就可以把其它云系滤掉,同时去掉尺度较小的云团。

滤掉其它云系后,可对MCS的 -32°C 和 -53°C 等温线进行边界跟踪,具体步骤如下:

① 对图象 $I(i, j)$ 从上到下,从左到右,逐个像元进行扫描,当发现像元 (i, j) 从 $(i, j) < \text{VALUE}$ 变为 $(i, j) \geq \text{VALUE}$ 时,记下

P_0 的坐标,记为 x_i, y_i 。

② 取出 P_0 的8邻点,从像元 P_0 的邻点 $P(3)$ 开始研究,反时针方向进行跟踪,当第一次出现 $I(i, j) \geq \text{VALUE}$ 的像元 $P(k)$ 时,将该点做上标记,如8邻点中, $I(i, j)$ 均小于VALUE,说明该点为孤立点,结束跟踪。

③ 令 $P(k)$ 为 P_0 ,取出 P_0 的8邻点,从 P_0 的邻点 $P[(k+5)\text{MOD}8]$ 开始研究,反时针方向进行跟踪,对最先满足 $I(i, j) \geq \text{VALUE}$ 的像元 $P(k)$ 做上标记,并求出其与 P_0 点的链码。

④ 将 P_0 的坐标 (i, j) 与等值线的坐标 x_i, y_i 进行比较,若相等,则停止跟踪,若不等,则继续跟踪。

⑤ 从 $(x_i + 1, y_i)$ 开始,从上到下,从左到右进行搜索,重复执行上述步骤,直至整幅云图搜索完毕。

⑥ 如此,得到 -32°C 和 -53°C 的若干链码串。

2 MCS的模式匹配

设 t_1 时刻,卫星云图上有 n 个MCS, t_2 时刻,卫星云图上有 m 个MCS。分三种情况讨论:

第一种情况是, $n = m$ 亦即MCS在 t_1, t_2 时次没有新生,也没有消亡,这时分别计算 t_1 时刻的 n 个MCS($c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_n$)的形态特征,即 $(F'_1, F'_2, \dots, F'_5)$ 。再计算 t_2 时刻的 m 个MCS($c''_1, c''_2, c''_3, \dots, c''_m$)的形态特征,即 $(F''_1, F''_2, \dots, F''_5)$,设有距离 D :

$$D(F', F'') = \sqrt{(F'_1 - F''_1)^2 + (F'_2 - F''_2)^2 + \dots + (F'_5 - F''_5)^2} \quad (9)$$

让 $(c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_n)$ 与 $(c''_1, c''_2, c''_3, \dots, c''_m)$ 进行交叉匹配,当 $D(F', F'')$ 达最小时,即认为两组MCS匹配成功。

第二种情况是, $n > m$,即MCS在演变过程中有消亡,此时仍按上述方法进行匹配,只是 t_1 有可能有 $n - m$ 个MCS没被匹配上。

第三种情况是, $n < m$,即MCS在演变过

程中有新生,此时仍按第一种情况进行匹配,只是 t_2 时刻有可能有 $m - n$ 个MCS没被匹配上。

3 MCS的移动矢

对MCS进行边界跟踪时,记录其边界点坐标 x_i, y_i ,求出每一个MCS的几何中心:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\ \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \end{cases} \quad (10)$$

根据现有的资料情况,取时间间隔为一个小时,此时即可求出 MCS 的几何中心的移动矢量。

4 MCS 的外推

用上述的形态特征跟踪出 MCS 的移动矢量后,即可用来外推下一时刻 MCS 所在的位置。设 MCS 的移动满足:

$$\begin{cases} x(t) = a_0 + a_1 t \\ y(t) = b_0 + b_1 t \end{cases} \quad (11)$$

这时用两幅或三幅图象都能进行线性外推。两幅图象时:

$$\begin{cases} a_0 = x_1 \\ a_1 = x_2 - x_1 \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} b_0 = y_1 \\ b_1 = y_2 - y_1 \end{cases} \quad (13)$$

当为三幅图象时:

$$\begin{cases} a_0 = \frac{5}{6}X_1 + \frac{1}{3}X_2 - \frac{1}{6}X_3 \\ a_1 = \frac{1}{2}(X_3 - X_1) \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} b_0 = \frac{5}{6}Y_1 + \frac{1}{3}Y_2 - \frac{1}{6}Y_3 \\ b_1 = \frac{1}{2}(Y_3 - Y_1) \end{cases} \quad (15)$$

式中 (x_i, y_i) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 分别为

t_1, t_2, t_3 时刻几何中心位置。

外推的过程中也分三种情况。

两幅图外推时,①若 t_1 时刻 MCS 数等于 t_2 时刻 MCS 数,则按正常顺序外推。②若 t_1 时刻 MCS 数大于 t_2 时刻 MCS 数,则仅对 t_2 时刻 MCS 进行外推。③若 t_1 时刻 MCS 数小于 t_2 时刻 MCS 数,则有部分 MCS 无移动矢量,则根据其最靠近的 MCS 的移动矢量进行外推。

三幅图象进行外推时,情况较复杂,仅考虑 3 个时次的 MCS 数均相等的情况。

5 结 论

用上述方法在 1999 年汛期进行了试验,可以得出以下结论:

①用形态参量可以较好地描述 MCS 的形态特征,从而对 MCS 进行跟踪。

②试验结果表明,用该方法进行外推,其准确率较目测方法要高。6 小时外推准确率明显低于 3 小时。

参考文献

- 1 汤达章,赵清云等.雷达跟踪回波运动方法的研究(I)—相关分析方法的误差及其来源.南京气象学院学报,1988,11(1):88~99.
- 2 王登炎,周筱兰等.暴雨云团演变过程的模式识别,武汉大学学报(自然科学版),1998,44(5):659~662.
- 3 汤达章,付德胜等.暴雨回波跟踪及临近预报初探.南京气象学院学报,1992,15(1):66~71.

Morphology Feature and Extrapolation Forecast of MCS

Wang Dengyan

(Wuhan Central Meteorological Observatory, Hubei Province 430074)

Abstract

After satellite image was processed, Fourier expansion was made for MCS's boundary line. Using the conservatism of morphology feature, the translation vector was obtained and the extrapolation forecast was given. The result shows that the accuracy is higher than visual observation.

Key Words: MCS morphology feature extrapolation forecast