

利用天气雷达判断强对流天气和 作短时预报的一种客观方法

徐玉貌

(南京大学)

唐洵昌 夏文梅

(江苏省气象台)

提 要

本文用逐步回归和逐步判别方法,以天气雷达回波参数和气象因子为预报因子,建立了判断强对流天气和作短时预报的方程,并对它们进行了分析讨论、比较和检验。结果表明,这是判断和预报强对流天气的一种有效方法,尤其是逐步判别法不仅能预报强对流天气的有无,还能预报其强度等级。

一、前 言

雷雨大风、冰雹和龙卷等强对流天气是一种突发性的灾害性天气,其特点是发生时段短,空间范围小,用常规的天气预报方法不能很好解决预报问题。近二十年来,大气遥感探测技术和计算机技术的发展,为监测和短时预报中小尺度系统所发生的强对流天气提供了条件,很多国家都开展了大规模的研究和试验工作^[1],我国也于七十年代末开始开展了有关的试验和研究。为了在我国现有设备和技术条件下,在日常工作中利用天气雷达和常规天气资料客观的、半定量的判断和短时预报强对流天气,我们采用了统计预报方法,即分别用逐步回归法和逐步判别法,用实时雷达回波资料对当时有无强对流天气进行判断和对两小时内有无强对流天气进行短时预报,并用历史资料和新资料对两种统计预报方法作了检验和试报,得到较为满意的结果。

二、资料来源和因子初选

资料主要取自南京 713 雷达和南京站探空及地面资料,少数个例缺测的回波参数则由南京周围 280km 范围内的江苏省其他一些雷达站的资料补充。统计样本选自 1979—1985 年 4—6 月发生在以南京为中心的 280km 范围内的对流天气。1979—1984 年样本用于建立判断和预报方程,而 1985 年的强对流事件被用作试报。样本数、判断和预报方程及检验情况详见表 1 和表 2。

1986 年 3 月 20 日收到,1987 年 6 月 26 日收到再改稿。

表 1 逐步回归方程及其检验

类型	逐步回归方程	阈值 y_c	1979—1984 年检验		1985 年试报	
			样本数	拟合率 (%)	样本数	准确率 (%)
判断方程	$y_{87} = 1.591 - 1.132R + 4.266 \times 10^{-2}H_s + 7.536 \times 10^{-3}V_{\max}$	1.594	88	98	31	100
I 类预报方程	$y_{81} = 1.573 + 0.199H_s - 0.291H_t + 1.604 \times 10^{-2}\bar{V}$	1.469	40	100	10	90
II 类预报方程	$y_{81} = 2.126 - 1.283R$	1.688	65	72.3	11	72.7

表 2 逐步判别函数及其检验

类型	逐步判别函数	1979—1984 年检验		1985 年试报	
		样本数	拟合率 (%)	样本数	准确率 (%)
二级判断方程	$y_{2,1} = -53.618 + 60.436R + 12.849H_s + 0.646H_s + 0.273V_{\max}$	88	97.7	31	100
	$y_{2,2} = -39.624 + 31.760R + 11.214H_s + 1.396H_s + 0.373V_{\max}$				
I 类二级预报方程	$y_{2,1}^{(1)} = -70.827 + 32.781H_s - 0.123\bar{V} - 0.064H_s$	40	97.5	10	80.0
	$y_{2,1}^{(1)} = -67.012 + 27.510H_s + 2.949H_s + 0.135\bar{V}$				
II 类二级预报方程	$y_{2,1}^{(1)} = -4.363 + 16.740R$	65	80.0	11	81.8
	$y_{2,1}^{(1)} = -0.641 + 8.610R$				
三级判断方程	$y_{3,1} = -122.759 + 153.035R + 5.175H_{\max} + 2.080Z + 0.758T_D - 0.041V_{\max}$	88	96.6	31	90.3
	$y_{3,2} = -75.495 + 77.093R + 2.948H_{\max} + 1.939Z - 1.043T_D + 0.015V_{\max}$				
	$y_{3,3} = -109.999 + 113.805R + 4.790H_{\max} + 2.250Z + 0.157T_D + 0.038V_{\max}$				
I 类三级预报方程	$y_{3,1}^{(1)} = -108.901 + 38.276H_s + 3.758V_{\max} - 2.812\bar{V} + 1.679\Delta t - 0.610T_D + 0.478H_s + 1.580 \times 10^{-2}L_t$	40	97.5	10	80.0
	$y_{3,1}^{(1)} = -205.834 + 36.011H_s + 11.892\bar{V} - 6.541V_{\max} + 3.080H_s - 3.015T_D - 0.459L_t - 0.448\Delta t$				
	$y_{3,3}^{(1)} = -103.552 + 32.916H_s + 3.755H_s + 2.433V_{\max} + 1.292\Delta t - 0.873\bar{V} - 0.622T_D + 0.102L_t$				
II 类三级预报方程	$y_{3,1}^{(1)} = -4.506 + 16.379R + 0.086H_s - 0.018T_D$	65	73.8	11	72.7
	$y_{3,1}^{(1)} = -2.761 + 5.779R + 0.240H_s - 0.297T_D$				
	$y_{3,1}^{(1)} = -1.213 + 9.086R + 0.117H_s + 0.068T_D$				

我们分两类情况建立预报方程。I类是在 t 时刻还没有发生强对流天气,用这 t 时刻的资料来预报2小时以内,即 $(t+2)$ 时间内在下游站是否发生强对流天气;第II类是在 t 时刻已发生强对流天气,用 t 时刻的资料来预报下游站在 $(t+2)$ 时间内是否继续有强对流天气发生。预报量 y 的取值也分两种情况:其一是将 y 分成1、2两个等级,“1”表示雷雨天气,“2”表示强对流天气;其二是将 y 分成1、2、3三个等级,“1”表示雷雨天气,“2”表示冰雹直径小于2cm或瞬时风速在17—25m/s之间的雷雨大风强对流天气,“3”表示冰雹直径大于2cm或瞬时风速在25m/s以上的雷雨大风或龙卷等强对流天气。

我们依据强对流天气发生发展的物理因子和规律,对预报因子进行初选。由于雷达回波参数能直接反映对流发展的程度和对流云发生发展的物理过程,同时由于对流天气的发生发展受多种环境因子(热力和动力因子)及各种尺度天气系统的作用和影响,因此我们从雷达回波特征和天气条件两个方面来选择日常工作中既比较容易取得又有显著物理意义的预报因子,共选了13个因子,其中雷达回波参数及其相关的因子有8个,天气背景因子4个,日变化因子1个。这些因子分述如下:

- 1) Z : 最大雷达反射因子 (dBZ);
- 2) $H_{\max}$: 最大回波顶高 (km);
- 3) T_H : 最大回波顶高处环境温度($^{\circ}\text{C}$);
- 4) H_S : 距离-高度显示器上的回波强中心高度 (km), 反映了强对流云中含水量最大累积区和冰雹迅速增长的所在高度;
- 5) T_{H_S} : 距离-高度显示器上的回波强中心高处环境温度($^{\circ}\text{C}$);
- 6) $V_{\max}$: 回波整体的最大移速 (km/h);
- 7) $\bar{V}$: 回波整体的平均移速 (km/h);
- 8) R : 对流云内正负温区厚度之比。取回波顶高度减 0°C 层高度为负温区厚度, 0°C 层高度减凝结高度(作为云底高度)为正温区厚度,然后求两者之比;
- 9) W : 高低层风速切变 (s^{-1}), $W = \frac{\Delta V}{\Delta Z}$, 由于四月份对流云的高度一般比五至六月份低,所以 W 取300hPa—850hPa上的环境风速差值与两层间厚度值之比,而五至六月份 W 取200hPa—850hPa上的环境风速差值与两层间厚度值之比;
- 10) H_0 : 0°C 层的高度 (km);
- 11) L_i : 稳定度判据,用500hPa与850hPa之间的 θ_{se} 差值表示;
- 12) T_D : 地面最高气温距平($^{\circ}\text{C}$),为当天的最高温度与历史上同旬平均最高温度之差值,距平正值越大,说明当天的热力条件越充分;
- 13) Δt : 天气发生时间距平的绝对值 (h)。根据江苏省强对流回波频率分布日变化的统计分析,一天中产生强对流回波的频率峰值在17时,故取 $\Delta t = |t - 17|$,表示日变化对强对流天气的影响。

三、判断方程和预报方程的建立

我们分别用逐步回归和基于 Bayes 准则的逐步判别方法^[2-4]建立了对强对流天气判

断和预报的回归方程和判别函数。我们对判断和第 I 类的预报还采用了二次判别的方法^[2],即在第一次判别后,将所得到的分类变成原分类(对原分类进行调整),再作第二次判别,将其得出的判别函数作为最终的判别函数。实际计算结果表明:由于样本的原分类难免因人为因素而错分,因此二次判别效果一般比一次判别效果要好,如,二级判断的拟合率能提高 1.2%,三级判断及其 I 类判别预报的拟合率平均提高 7.5%。

根据上述预报量和预报因子,在逐步选择因子时取显著性检验函数 $F = 3$,所得结果如下:

1) 逐步回归分析

各类回归方程及其检验结果列于表 1。

实际应用时将所得资料代入方程中,计算出 y 值,如小于阈值(y_c)为雷阵雨,大于阈值则为强对流天气。

回归分析表明,对应于各方程的剩余标准差很小,即回归精度很高;反映总回归效果的检验函数 F 远大于显著性水平等于 0.01 的临界值 F_{α} ,说明这些方程的显著性很高。但是,强对流天气事件是一个非连续有序变量,用回归方法只能判断和预报强对流天气的发生与否,不能作强度判断和预报。

2) 逐步判别分析

表 2 列出了判别函数及其检验的全部结果。

实际应用时将所得的各参数因子值代入判别函数式,求出各个判别函数值,则其中最大的判别函数值所对应的级别就是判断量或预报量 y 的级别。我们对总的判别效果采用 χ^2 检验,对第 e 级和第 f 级之间的判别效果采用 F_{ef} 检验。计算表明所有的 χ^2 检验值都远大于 0.01 级显著性水平的临界值 χ^2_{α} ,说明总的判别效果很显著;计算还表明,本文所有用作判断和预报的 F_{ef} 检验值(无论对一次判别还是二次判别),其值远大于 0.01 的显著性水平的临界值 $F_{ef,\alpha}$,说明对级与级之间的判别效果也很显著。

四、结果讨论

(1) 对于判断和预报(0—2 小时)是否出现强对流天气,用逐步回归方法和逐步判别方法都有很高的准确率,说明用这种综合考虑雷达回波参数和天气因子的统计分析方法来作强对流天气的判断和 0—2 小时的临近预报是有效的,具有客观和半定量的特点。其中逐步判别法不仅能判别和预报强对流天气的有无,还能判断和预报其强度等级。

(2) 对 I、II 类不同情况的预报,所选出的因子有所不同,而且第 I 类所选出的因子个数多于第 II 类 2 至 4 个。第 I 类的预报因子中除雷达回波参数(R 、 H_s 、 V_{max} 、 $\bar{V}$ 等)外,还包含天气因子(H_0 、 T_D 、 L_i)及日变化因子 Δt ;而第 II 类的预报因子仅三级判别时包含天气因子 T_D ,其余都是雷达回波参数。产生这种结果是因为第 I 类系预报处于发展阶段的回波系统能否发展成强对流回波,它在很大程度上取决于当时的天气条件,因此天气因子在预报方程中起着重要的作用,例如选进的 H_0 、 T_D 和 L_i 等因子,它们确实与对流云前期能否发展成强对流云有较好的关系,而第 II 类是由已产生强对流天气的回波系统来预报二小时内是否还继续有强对流天气。由于产生强对流天气的回波系统的成

熟阶段一般能准稳定地维持几小时,因此在 2 小时的预报时段内,回波参数就相对于天气因子更起着决定性的作用。但是,在 2 小时的预报时段内,回波系统也可能已处于减弱消亡阶段,这时天气因子,特别是反映中小尺度系统活动特征的气象因子的作用就不能忽略,而我们所选的天气因子不能反映对流云后期(即减弱消亡阶段)的气象条件,因此造成了第 II 类情况的预报准确率低于第 I 类情况。

(3) 分析每小时(或 3 小时)的边界层或地面要素场及其物理量场,能反映出中小尺度系统的发生发展,而且要比强对流回波的变化反映得早,一般能提前 1—2 小时反映出中小尺度系统变化的信息^[6]。但我们所选的天气因子不能反映出中小尺度系统的变化,随着中小尺度天气监测网的建立,可望使本方法所选的天气因子更合理有效,从而进一步提高本方法的效果。

(4) 今后在有条件时,可按天气型、雷达回波型和不同的移动路径等作更细致的统计分析,也可采用雷达回波参数的变化量(如 ΔZ 、 ΔH 等的时空变化)作初选的预报因子。

参 考 文 献

- [1] Browning, K. A. 1982, Nowcasting, US edition published by Academic Press Inc., New York.
- [2] 谭冠日, 1978, 气象站数据统计预报方法, 科学出版社, p. 174.
- [3] 中国科学院计算中心概率统计组, 1979, 概率统计计算, 科学出版社.
- [4] Miller, R. G, 1962, Statistical Prediction by Discriminant Analysis, *Meteorological Monographs*, Vol. 4, No. 25.
- [5] 林炳耀, 1985, 计量地理学概论, 高等教育出版社, p. 176—190.
- [6] 中国人民解放军空军第七研究所, 1984, 航空气象科技 4—5 期, p. 60—69.