

夏季对流云初期回波与降水之间的关系

吴玉霞 洪延超 雷恒池*

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

1979—1981年6和7月份在安徽屯溪机场,用711雷达对对流云初期回波及其发展过程进行了观测。资料分析表明:(1)对流云的初期回波绝大多数是在云的暖区形成的,因此,屯溪地区夏季对流云中暖云过程对降水形成起重要作用。(2)用回波顶升速、回波顶高和强度为35dbz回波的厚度、初期回波中心高度变化情况可以定性估计积云降水的强弱。

一、引 言

对流云降水是我国夏季常见的一种降水形式,能否利用雷达对对流云初期发展观测所获得的信息来预报它以后的发展趋势,进而推断降水的强弱,这还是个有待解决的问题。过去的研究工作,只是对初始雷达回波本身进行了一些讨论。为了进一步了解对流云的发展过程,探索初期回波的特征及其与降水的关系,我们于1979—1981年的6和7月份在安徽屯溪机场(北纬 $29^{\circ}31'$,东经 $118^{\circ}17'$),用711雷达进行了对流云的观测。

在观测期间,天气形势差不多,测站都处于副高边缘。观测的对流云大都是局地热对流形成的,它们一般很少移动。由于在雷达上安装了分层显示装置(层间有5db和10db两档),对发展迅速的对流云也能进行连续观测。观测时仅用50公里档,这样可不考虑地球曲率的影响。先用不同仰角进行PPI扫描搜索,一旦发现初生回波,马上进行RHI剖面观测。由于对流云发展迅速很难抓到初始回波。考虑到雷达没有距离订正装置,用dbz来表示回波强度, $dbz = 10 \log \frac{z_e}{mm^6/m^3}$, $z_e = 4.1 \times 10^{-3} R^2 10^{N/10} mm^6/m^3$ 。其中R是回波中心离测站的距离,以公里计,N是衰减db数。我们定义中心强度 $ES < 25dbz$,厚度 $\Delta H \leq 4.3$ 公里的回波为初期回波,而在统计有关参数时,则是按 $ES < 15dbz$ 和 $25 > ES \geq 15dbz$ 分开进行的。

二、对流云几种参数与初期回波之间的关系

三年中共观测到初期回波110块,其中 $ES < 15dbz$ 的有49块, $25 > ES \geq 15dbz$ 的为61块,分别占总数的45%和55%。统计所用到的一些其它参量,如云内温度,对流

1983年2月28日收到修改稿。

* 南京气象学院1981年毕业生。

凝结高度和云内最大上升气流等,均是用上游站安庆当天 07 时探空资料求取的。

1. 初期回波出现高度 我们统计了初期回波和 $ES = 28 \text{ dbz}$ 时回波的顶高、中心高度、厚度和底高的平均值(列在表 1)。

表 1 回波参量的平均特征

中心强度 (dbz)	块 数	顶 高 (公里)	中心高度 (公里)	厚 度 (公里)	底 高 (公里)
$ES < 15$	49	4.4	3.2	2.4	2.1
$25 > ES \geq 15$	61	4.9	3.3	3.4	1.6
$ES = 28$	68	5.7	3.4	4.7	1.0

比较表 1 中参量可以看到,初期回波顶的平均高度以 $ES < 15 \text{ dbz}$ 为最低,以 $25 > ES \geq 15 \text{ dbz}$ 为较高,但两者均比强度为 28 dbz 的回波顶低,而回波底的平均高度则恰好相反,前者回波底最高而后者最低。回波中心高度三者都差不多。这表明,回波形成后,经历了回波顶向上增长,底部向下延伸的发展过程,因而回波厚度增大,强度加强。用经纬仪和雷达配合观测时发现,当对流云发展到快要降水时,回波顶和宏观云顶仅相差几百米,我们以即将降水时的回波顶高作为云顶高,凝结高度作为云底高度,统计得到 90% 左右的初期回波位于云体中部。从上海地区观测^[1]的积云中上部大云滴浓度最大这一结果看来,可能就是这个部位大云滴首先产生雷达回波的。

表 2 初期回波出现部位情况

初期回波强度 (dbz)	0℃ 层以下		0℃ 层附近		0℃ 层以上	
	块 数	百分比(%)	块 数	百分比(%)	块 数	百分比(%)
$ES < 15$	43	87.7	6	12.3	0	0.0
$25 > ES \geq 15$	51	83.6	10	16.4	0	0.0

表 3 初期回波顶温度(T)分布

初期回波强度 (dbz)	$T > 0^\circ\text{C}$		$-5^\circ\text{C} < T \leq 0^\circ\text{C}$		$-8^\circ\text{C} \leq T < -5^\circ\text{C}$	
	块 数	百分比(%)	块 数	百分比(%)	块 数	百分比(%)
$ES < 15$	43	87.7	5	10.3	1	2.0
$25 > ES \geq 15$	51	84.0	7	11.5	3	4.5

为了研究南方积云降水形成机制,把初期回波出现的高度分为以下三种情况:凡回波顶部在 0°C 层以下的,则认为初期回波是在 0°C 层以下出现的;回波顶部高于 0°C 层而回波中心位于 0°C 层以下的,则认为初期回波是在 0°C 层附近出现的;回波中心在 0°C 层以上的,则认为初期回波是在 0°C 层以上出现的。初期回波出现相对于 0°C 层的部位情况见表 2。对于 $ES < 15 \text{ dbz}$ 的初期回波绝大部分位于 0°C 层以下, $25 > ES \geq 15 \text{ dbz}$ 的

初期回波有 16.4% 是在 0°C 层附近出现的, 两者都没有在 0°C 层以上出现的。另外以初期回波顶的温度分布统计 (表 3) 看出, 有 84% 以上的回波顶温度高于 0°C , 10% 左右在 0°C — 5°C 之间。即使初期回波的中心强度大于 15 dbz 其顶温也只有 4.5% 低于 -5.0°C 。因此, 从初期回波出现的部位和回波顶的温度分布情况, 可以认为夏季屯溪地区对流云降水形成的主要机制是从凝结碰并过程开始的, 也就是说暖云过程对于降水的形成起了主导作用。

2. 初期回波底的温度 统计分析表明, 初期回波的底高和对应的温度有较好的相关性 (图 1), 相关系数 $r = -0.97$, 显著度 $\alpha < 0.01$, 回归方程为

$$T = 24.9 - 4.04H$$

式中 H (公里) 为回波底高, $T(^{\circ}\text{C})$ 为相对应的回波底温度。

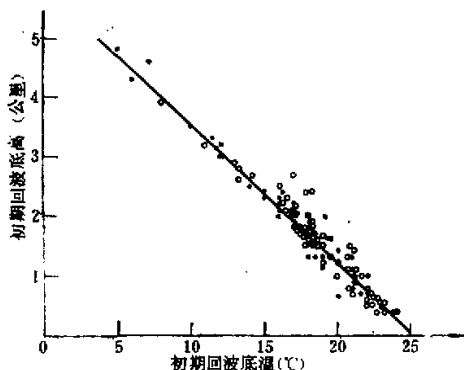


图 1 初期回波底高与底温的关系

• $ES < 15\text{dbz}$ ○ $ES \geq 15\text{dbz}$

从图 1 看出, 初期回波底愈低, 其温度愈高, 因而云底的温度也必然高。在低空中, 较暖的空气往往与较高的液态含水量相关联。另外, 从初期回波底温度频率分布曲线 (图 2) 看出, 83% 的初期回波底温高于 16°C , 底温在 16°C — 24°C 的初期回波占总数 81%, 底温在其它范围的频率都低。这说明在该地区云底附近温度为 16°C — 24°C 时有利于促进初期回波的形成。

3. 初期回波出现高度与“云底”高度及其它因子的关系 三年中我们共有 26 天观测到初期回波, 以探空图上凝结高度作为云底高度, 并将它与每日初期回波平均出现高度作点聚图 (图 3) 两者相关系数仅为 0.30, 看来它们之间的相关不太好。例如, 1980 年 7 月 17 日, 在 13 时 08 分到 14 时 20 分, 观测到 5 块中心强度 $ES < 15\text{dbz}$ 的初期回波, 它们的中心与云底间距离分别为 2.5, 4.5, 3.0, 5.7 和 2.8 公里 (云底高度为 0.5 公里), 平均值为 3.7 公里, 标准离差

$$\sigma = 1.36 \left(\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \right),$$

极差为 3.2 公里。因此一般而言, 初期回波出现高度与云底高度相关性不大。另外, 初期

强,全部大于 54dbz,及地时的中心强度达到 4.3×10^5 毫米⁶/米³,及地时 35dbz 回波平均体积接近 10 公里³。而对弱降水云体而言,对应上述回波参量值分别为 6.3 公里、15—37 dbz、 2.0×10^3 毫米⁶/米³ 和 0.3 公里³。可见弱降水云体参量值比强降水小得多,尤其是 $\bar{S}_R$ 要比强降水小 2 个量级, $\bar{V}_R$ 也小一个量级。产生中等强度降水云体的各种回波参数介于强弱两者之间,可见表 4 中所列的回波参量与降水强弱有较密切的关系。

表 4 回波平均参量与降水间关系

降水类型	块数	$\bar{H}_{max}$ (公里)	离散度 $K = \frac{\sigma}{\bar{H}_{max}}$	$\bar{S}_{max}$ (dbz)	$\bar{S}_R$ (毫米 ⁶ /米 ³)	$\bar{a}$ (公里)	$\bar{b}$ (公里)	$\bar{V}_R$ (公里 ³)
强	6	8.3	0.08	>54	4.3×10^5	1.77	5.32	9.36
中	3	6.1	0.16	44—50	4.7×10^4	1.30	3.17	2.67
弱	11	6.3	0.33	15—37	2.0×10^3	0.60	0.60	0.30
无	6	6.0	0.28	15—37	—	—	—	—

表 5 回波各参数频数分布

降水类型	总块数	S_R (毫米 ⁶ /米 ³)	块数/ 总块数	S_{max} (dbz)	块数/ 总块数	a (公里)	块数/ 总块数	b (公里)	块数/ 总块数
强	6	$> 2 \times 10^5$	6/6	> 54	6/6	≥ 1.5	5/6	≥ 4.0	6/6
中	3	$> 2 \times 10^4$	3/3	> 44	3/3	≥ 1.0	2/3	≥ 3.0	3/3
弱	11	$< 1 \times 10^4$	11/11	≤ 37	11/11	< 1.0	10/11	< 3.0	11/11

注: a 和 b 是回波及地时的值

此外,从表 5 看出,强、中、弱降水对流回波在 S_{max} 、 S_R 和 b 值的频数分布方面也都有明显差别,既然三类回波在发展到最强时会有如此大的差异,它们的发展过程也可能有所不同。

表 6 初期回波从 15dbz 经历 7 分钟的情况

降水类型	块数	平均顶高 (公里)	平均升速 (公里/分)	35dbz 回波		
				$\bar{a}$ (公里)	$\bar{b}$ (公里)	$\bar{V}$ (公里 ³)
强	6	7.1	0.30	1.36	4.45	7.19
中	3	5.6	0.07	1.04	2.67	1.72
弱	11	6.0	0.03	0.24	0.50	0.24
无	6	4.7	-0.09			

注: 平均升速是指每块回波 7 分钟内顶升速平均值之平均值, 其它参量是每块回波第 7 分钟时的值的平均值。

据观测初期回波在强度达到 15dbz 后,一般至少还要发展 7 分钟才产生降水。现在分析在这 7 分钟里初期回波的发展情况。表 6 给出几个平均特征量。可见产生强降水的 6 块初期回波的平均特征量都比中、弱降水的大,事实上经过 7 分钟的发展,强降水回波中有 5 块回波顶高超过 7 公里,回波顶升速 ≥ 0.2 公里/分,有 4 块 35dbz 回波厚度 $b \geq 4.5$

公里。对于中等降水回波, b 值均在 2.0 和 4.5 公里之间, 11 块弱降水回波中有 9 块 7 分钟内回波顶平均升速小于 0.03 公里/分, 有些回波顶不是上升而是下降的, 所有 b 值都小于 2.0 公里。在无降水回波中, 有的强度没有达到 35 dbz, 有的虽达到但维持时间很短就消散了。

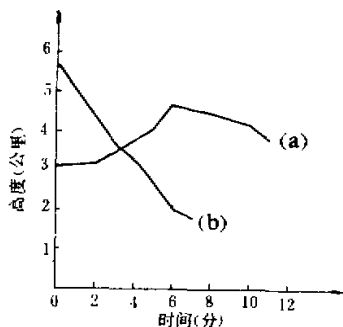


图 4 强降水(a)和无降水(b)回波强中心高度的变化
(时间: 1980 年 7 月 17 日)

云中产生降水的强弱与云的回波初期发展趋势有很大关系。将回波顶和回波强中心在降水之前的发展形式分为上升(回波顶和强中心高度一直是上升的)、平稳(强中心维持在同一高度上)、先升后降(回波顶和强中心开始是上升的然后又下降)和下降(回波顶和强中心一直是下降的)四种类型。根据分析, 产生强降水的回波, 在产生降水前的几分钟内, 绝大部分回波顶和强中心是上升的(图 4a), 但一般强中心不如回波顶升得快, 而弱降水 and 无降水回波大部分属于下降型(图 4b)。可见降水强弱与强中心高度变化趋势很有关系。

根据前面分析, 我们可以利用 7 分钟时 35 dbz 回波的厚度 b , 回波顶升速 v 、回波顶高 H , 再结合回波强中心的变化趋势定性估计降水的强弱。把 b 作为主要指标, 其它参量作为参考指标, 当

$b \geq 4.5$ 公里 ($v \geq 0.2$ 公里/分, $H \geq 7$ 公里, 强中心上升) 为强降水;

$4.5 > b \geq 2$ 公里 ($0.03 < v < 0.2$ 公里/分, $H \leq 6$ 公里, 强中心不是一直上升) 为中降水;

$b < 2.0$ 公里 ($v \leq 0.03$ 公里/分, $H \leq 6$ 公里, 强中心下降) 为弱降水。

四、几点看法

1. 在所观测的初期回波中, 云底温度一般大于 15°C , 最低的也在 10°C 左右。云底温度在很大程度上控制了云内液态含水量, 对较暖较低的云来讲, 往往与较高的液态含水量相关联, 这对于回波的形成是有利的。另外绝大部分初期回波是在 0°C 层以下和 0°C 层附近出现, 这说明初期回波是由暖区中通过凝结-碰并增长形成的水滴产生的, 这至少表明贝吉龙过程在对流云最初形成降水粒子过程中并不是很重要的, 也就是说, 在屯溪地区夏季对流云形成降水过程中暖云过程起了重要作用。即使对于该地区冰晶化了的雷雨云, 从初期回波出现在暖区这点分析, 云内早期的降水粒子也是通过凝结-碰并机制形成的, 就是在这样的云中, 暖云过程也是起主导作用的。

2. 初期回波出现的高度与从探空资料算出的凝结高度、自由对流高度和不稳定能量等关系不密切。

3. 强、中、弱三类降水的初期回波发展过程存在一定的差异。回波顶高、顶升速和强回波的体积也都与降水强弱有一定的关系。因而可以用这些量来判断降水。由于观测资料较少, 所得的指标是很粗糙的, 结果也是初步的, 要得到有实际应用价值的预报指标, 尚

需进一步观测研究。

本文是在何珍珍、黄美元两同志指导和帮助下完成的,沈志来和杨培才同志对本文提出了有益的意见,在此一并感谢。

参 考 文 献

- [1] 黄美元等,上海地区大云滴的观测,中国气象学会年会,1980年。

THE RELATIONSHIP BETWEEN INITIAL STAGE RADAR ECHOES IN CONVECTIVE CLOUDS AND PRECIPITATION IN SUMMER

Wu Yuxia Hong Yanchao Lei Hengchi

(*Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica*)

Abstract

The initial stage echoes in convective clouds and their growth processes were observed by 711 type radar at Tunxi Anhui Province during June to July, 1979—1981. Analysis of the data yields the following conclusions: (1) In summer most of initial stage echoes are appeared in warm region of convective clouds. It implies that the dominant precipitation initiation mechanism in convective clouds at Tunxi is the condensation-coalescence process. (2) By the use of the thickness of echo (35 dbz), the rise velocity and the height of echo top, and the height change of reflectivity core in the initial stage echo, the intensity of convective precipitation can be qualitatively estimated.