

# 一次多单体雹暴雷达回波和雹块微结构分析\*

龚乃虎 刘棠福 杨颂禧\*\*

徐家骝

(兰州高原大气物理所)

(兰州大学地质地理系)

## 1. 概 况

1977年6月25日17<sup>07</sup>至19<sup>50</sup>在我国甘肃平凉消雹基地,首次完整地观测到一次多单体雹暴。为了弄清我国雹暴的结构及其形成的物理过程,更有效地进行人工防雹作业,我们对这次雹暴进行了雷达回波和地面雹块微结构分析。

这次雹暴前后持续了将近三个小时,雹暴在移动传播过程中,先后降了蚕豆至杏子般大小的冰雹,个别地方积雹厚达15cm,降雹同时伴有雷阵雨,中心降水15分钟的总降水量为16mm,这次地面雹击带及降雹众数直径分布如图1所示。

降雹当天,大气层结很不稳定,正能区很大,整个中下层空气都很潮湿,高空干冷,同时平凉周围风向辐合明显,对流发展旺盛,云底至云顶风的垂直切变为 $2.4 \times 10^{-3} S^{-1}$ ,这是一种有利雹暴发展的形势。雹暴沿南略偏西方向移动,平均移速每小时21km。

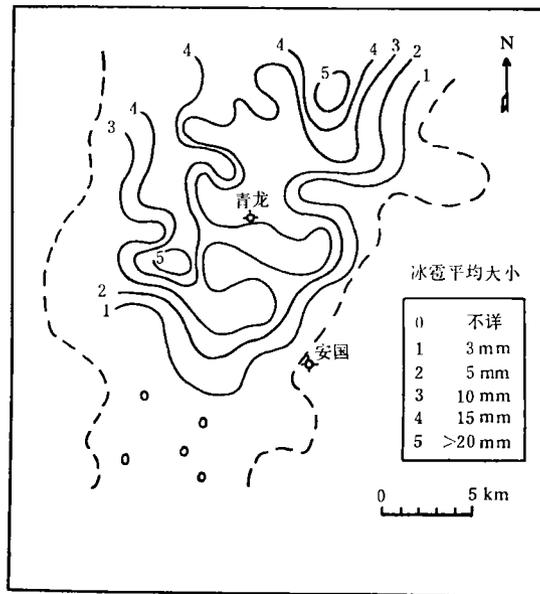


图1 多单体雹暴地面雹击带及降雹众数直径分布图  
(图中虚线为46 dbz 回波包络线)

## 2. 雹暴的雷达回波特征

这次雹暴雷达<sup>1)</sup>回波演变过程如图2所示。从图中可以看到多单体雹暴从初生、发展、成熟到消亡的完整过程。17<sup>23</sup> b回波刚形成,处于雹暴a移向的右前侧,它初生时很弱小,在移动过程中很快发展起来,17<sup>33</sup>并入雹暴复合体中,并与原主单体之间,激

\* 本文于1979年12月28日收到,1980年3月8日收到修改稿。

\*\* 金培荣同志绘图,雷达组同志参加了观测。

1) 为日制JMA-133 D三公分测雨雷达,发射峰值功率200 KW,脉冲持续时间2 μs,脉冲重复频率210 c/s,波束宽度1.3°,有等回波装置。

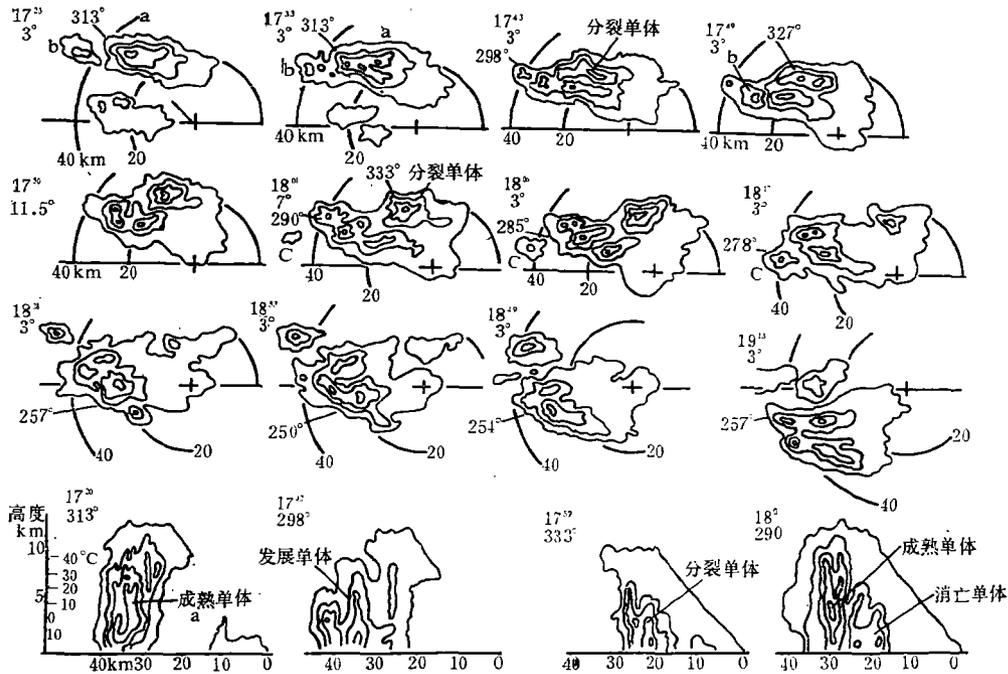


图 2 主要时刻PPI、RHI 雷达回波演变图  
(反射率廓线由外及里分别为00, 26, 36, 46, 56dbz)

发出新生单体， $17^{43}$  代表它的发展阶段，RHI 上其顶部高约 7 km，相应温度为  $-10^{\circ}$ — $-25^{\circ}\text{C}$ ，是雹胚形成及长成小冰雹 ( $D < 5 \text{ mm}$ ) 的区域。b 回波进一步发展，约在  $18^{01}$  变成了原有单体群中的主要核心，即成熟阶段。此时云体发展得既高又强， $\geq 46 \text{ dbz}$  强回波区伸展到 5—9 km 的高空，相应温度为  $-15^{\circ}$ — $-40^{\circ}\text{C}$ ，是冰雹主要增长区。 $18^{30}$  左右转为消亡期。在 b 回波发展的同时，原先的 a 主单体逐渐衰亡，而另一 c 回波又在雹暴右前侧形成。以后 c 回波又重复上述过程。 $18^{01}$  初生期， $18^{17}$  发展期， $18^{33}$  成熟期，直至  $19^{00}$  左右逐渐衰亡。回波的演变，表现了一系列新发展着的单体，每个单体经历着一个相似的一个生命周期，同时老单体在左后侧逐渐衰亡。

据 NHRE<sup>[1]</sup> 观测，多单体雹暴每个单体的生命史为  $15 \pm 2$  分钟，一次生消过程，总的不到一小时。跟踪本例，单体移动及雹暴不连续传播如图 3，从图中可清楚见到初生、发展这两个阶段的单体生命各为  $15 \pm 5$  分钟。而成熟阶段以及后来的衰亡阶段需经历约 30 分钟的时间，因此整个单体一次完整生消过程约一个半小时。

多单体雹暴移动的 Marwitz<sup>[2]</sup> 模式之一是，每个单体向环境风左侧连续移动，雹暴回波群的移向顺环境风方向移动。本例虽属这一类，新单体不断在右侧发展，老单体不断在左侧消失。但又有差异，雹暴移动不是顺环境风移动，而是明显右偏环境风方向，达  $30^{\circ}$  左右。这样单体移向与雹暴移向约有  $60^{\circ}$  夹角。如果考查分裂单体，则夹角竟有  $90^{\circ}$  (见图 3，右下侧风矢图)。

分析这次多单体雹暴回波演变过程，还发现一个有意思的特点，处于成熟阶段的单

体强区有分裂现象。分成南北两块,如图2回波强区于17<sup>43</sup>出现了分裂。高仰角PPI现象也一样,见17<sup>50</sup>仰角11.5°剖面,说明是较厚一层的云体整体分裂。分裂后的二块单体以不同方向同时移动,各自降雹,使得产生降雹的范围扩大。如图1,东北方的一个小降雹中心,即分裂单体降雹所致。分裂出去的强区,降雹后逐渐减弱消失,它不具有多单体有规则的再生消过程。由此可以认为,多单体雹暴中的某些强单体,可以直接由强区分裂而成,不需要经过初生、发展阶段。这种强区分裂现象,可能与较大的强中心产生不均匀降雹和高空风向、风速切变,以及环境气流与云中涡旋运动速度之间出现差异有关<sup>[3]</sup>。

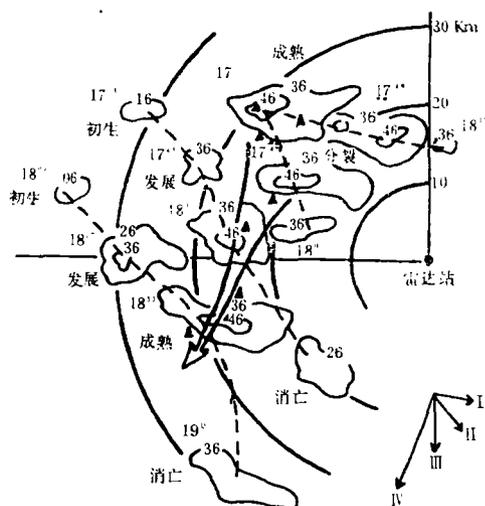


图3 多单体雹暴单体移动、传播图  
(I 分裂单体移动, II 单体移动, III 高空风, IV 雹暴不连续传播)

### 3. 雹块的微结构特征

1) 雹块形态特点: 这次收集到的120个雹样中,除两个属扁平球,一个锥形,一个柿饼形外,其余均属圆球和椭球形,其中又以圆球形占绝大多数(83.6%),说明这次过程环境的扰动是比较厉害的。

2) 雹块内部结构: 将收集到的108个雹块做了剖面观测,观测到的雹胚如表1所列的六种类型,(实际是八种),其中矩形和锥形只占极个别。主要是球形,其次是椭球形。这说明雹胚主要在云中气流扰动比较厉害的地方形成。球形中又以透明及半透明形为多数,占雹胚总数的43.5%。

表1 雹胚的形状

类型	透明、半透明圆球	不透明圆球	透明、半透明椭球	不透明椭球	锥形	矩形	总数
个数	47	28	23	7	2	1	108
%	43.5	26	21.3	6.5	1.8	0.9	100

雹胚直径的频数分布(见图4)和正态分布有较大的偏离。圆球形雹胚直径的分布和整个雹胚直径的分布比较一致,其众数直径为2—3 mm,相当于Bigg实验中的冻结温度 $-22^{\circ}\text{C}$ — $-21^{\circ}\text{C}$ <sup>[4]</sup>,从这可推断出雹胚主要来自含水量较大,温度不太低的云层中。

从所选的130个雹块分析中,可见这次雹块虽然不大,(最大冰雹的直径不超过2cm),但雹块的层数很多。而且雹块层数的分布也是比较分散的,见表2。雹块为2—5层的是

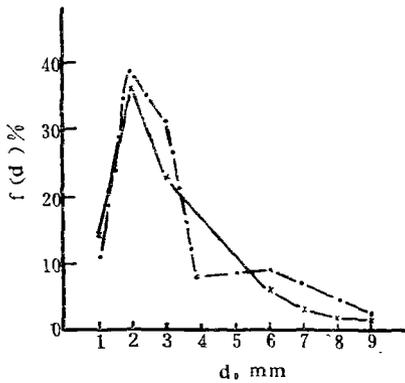


图 4 雹胚直径的频数分布  
(——各类雹胚总的分布,---透明和半透明圆球形雹胚的分布)

多数,占总数的 67.6%。其次是 6—9 层,占总数的 30.8%。这说明云中气流,含水量起伏很大,也表现了多单体雹暴中,冰雹增长经历不同单体的特点。

3) 雹谱特点: 从降雹后两小时随机取到的 1557 个冰雹尺度谱分布来看, (见图 5 a), 其相对浓度随直径的关系仍属单峰不对称的分布, 众数直径为 7 mm, 其数学形式可写成:

$$f(d) = 1.08d^{5.12}e^{-0.89d}(\%)$$

这个形式和文献中<sup>[5]</sup>总结的单峰谱的数学形式( $\gamma$ 分布)是有些接近的。

表 2 雹块层数的分布

层数	2	3	4	5	6	7	8	9	11	16	总数
个数	18	29	19	22	12	11	9	8	1	1	130
%	13.8	22.3	14.6	16.9	9.2	8.5	6.9	6.2	0.8	0.8	100

此外, 在降雹前期(17<sup>43'</sup>—17<sup>44'39''</sup>)还测了冰雹绝对浓度的谱分布, (见图 5 b)。其众数直径是 6—7 mm, 这和随机取的平均相对浓度的总数直径 7 mm 比较接近。这次冰雹的总浓度是 0.136 个/米<sup>3</sup>, 它是比较偏少的。直径为 9 mm 以前的绝对浓度约占总浓度的 87%, 故谱分布表现为在 9 mm 以前随直径增大而减少得比较利害。9 mm 以后则是非常缓慢的减少。

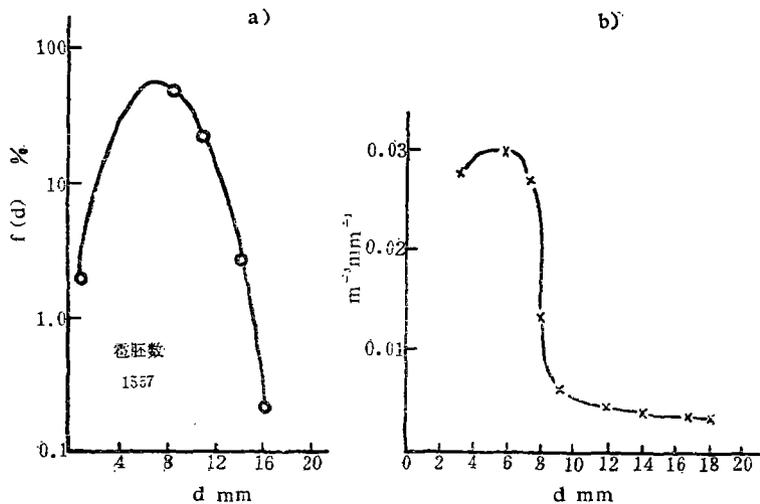


图 5 a) 平凉(青龙)冰雹相对谱分布(图中雹胚数应为冰雹总数,1557 应为 1557 个)

b) 平凉(青龙)冰雹绝对谱分布

#### 4. 结 论

通过这次多单体雹暴从初生、发展、成熟到消亡的完整过程的分析,发现供给云处于雹暴主体的右前侧,这类小单体能够并入雹云中,并且很快发展成为主单体,而原先的主单体逐渐衰亡。此外发现成熟阶段单体生命史比初生、发展阶段生命史长一倍,约30分钟。单体移动左偏环境风 $30^\circ$ ,雹暴移动右偏环境风 $30^\circ$ ,以及成熟阶段的主单体有分裂现象,并且地面都有相应降雹。

从地面收集到的120个雹块微结构分析中指出多单体雹暴、雹块直径小,形状单纯,基本全是圆球和椭球形。64.8%的雹胚为透明和半透明圆球及椭球,雹胚直径小,呈偏态分布。雹内层数较多。雹谱接近伽马( $\gamma$ )分布。

#### 参 考 文 献

- [1] NHRE, 1975: Air motion and radar echo evolution in a multicell hailstorm, Preprints 9th Severe Local Storms conf, P 436—443.
- [2] Marwitz, J. D., 1972 b, The structure and motion of severe hailstorms. Part II: multicell storms. J. Appl. Meteor., 11, 180—188.
- [3] Fankhauser, J. C., Thunderstorm-Environment interactions determined from aircraft and Radar observations, *Mon. Wea. Rev.*, 99, 171—192, 1971.
- [4] 梅森, B. J., 云物理学, 科学出版社, 1978.
- [5] Сулаквелидзе, Т. К., “Ливневые Осадки и Град”, 1967.