

## 平凉地区雹云回波移动特征\*

龚乃虎 瞿章 蔡启铭 原永泉

(兰州高原大气物理研究所)

甘肃省平凉地区位于我国西北高原，著名的六盘山山脉由北向南贯穿全境，地势西高东低，海拔高度一般在 1350—1950 米之间，为沟壑起伏的黄土塬，是我国的多雹地区之一。

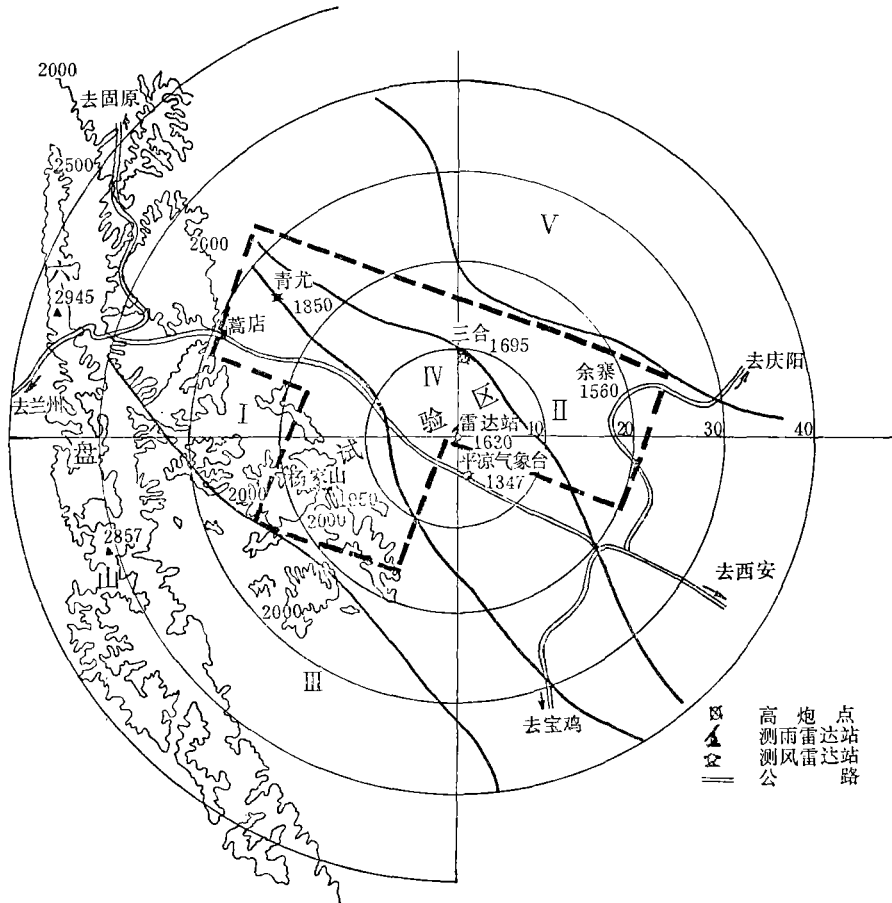


图 1 平凉防雹试验基地及雹云回波活动分区图

\* 本文于 1979 年 7 月 9 日收到，10 月 31 日收到修改稿。

1) 日本制 JMA-133 D 雷达，波长 3 cm，发射峰值功率 200 KW，脉冲持续时间 2  $\mu$ s，脉冲重复频率 210 c/s，波束宽度 1.3° 另安装有自制等回波装置。

从1972年起,为配合这一地区的防雷工作,建立了一个控制面积约为900平方公里的观测、防雷试验基地,在群众性土炮防雷基础上,增设了高射炮四门(口径37 mm),测雨雷达<sup>1)</sup>一部,配置情况见图1。七、八年来,每年夏季用雷达对周围100公里范围内的强雷暴进行跟踪观测,寻找和掌握这一地区雷云发展、移动、演变规律,同时坚持进行雷达参数定量标定,以监视雷达性能是否稳定。本文利用1973—1978六年82块雷云雷达观测资料,通过统计分析,个例研究,找出一些规律,目的为冰雹短时落区预报,改进雷暴模式,指挥防雷作业提供比较客观的依据。

### 1. 雷暴云强回波出现频率及雷云回波移动路径

1) 单体的回波强度是判断雷雨云是否降雹的一个重要依据<sup>[1]</sup>。为了了解平凉地区强雷暴云的分布,我们对73—78年强回波(指PPI 3°仰角上 $Z_e \geq 46$  dbZ的回波)出现频率进行了统计并作图。方法是在以雷达站为圆心,半径15—50公里的范围内,划出方位每格8°,距离每隔5公里的若干小方格,据雷达观测资料,把 $Z_e \geq 46$  dbZ强回波登记在相应位置,统计出小方格内的点子数,画等值线,得到强回波出现频数图(图2)。从图2可见(1)由于山区地形的影响,频数出现若干个极大值,最大中心在雷达站西南方15公里处,距主要山脉20多公里。(2)在六盘山东侧,沿六盘山南北走向,频数等值线形成一带状,带上有几个相对大的中心,说明山脉起着对雷暴云强回波频数增加的作用。

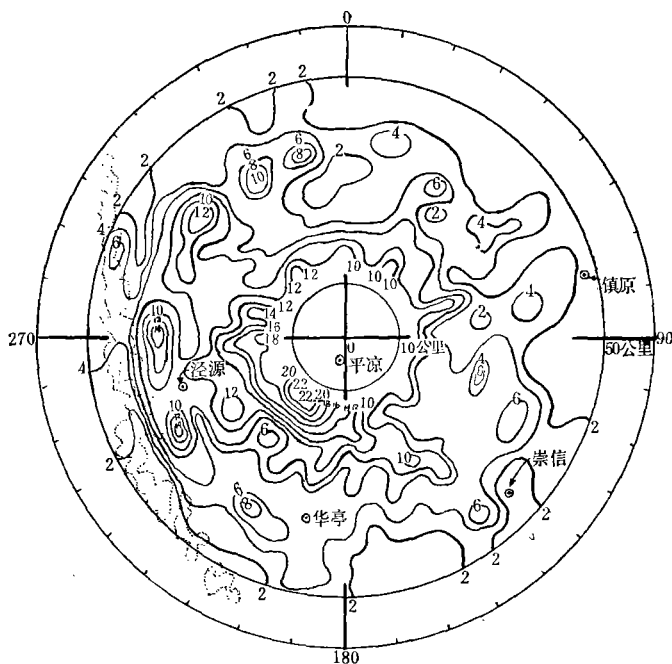


图2 雷暴云强回波频数图  
(图中虚线区为六盘山脉)

2) 为了了解雷云移动,我们对水平尺度5—100公里,时间尺度0.5—10小时的中小尺度回波群进行连续跟踪观测,选择 $Z_e \geq 36$  dbZ的强回波,描下其廓线并进行强中

心联线。73—78年对照地面雹情，共观测到雹云82块，绘制了平凉地区雹云回波路径图(图3)。分析该图发现，发生在一定地点的雹云，绝大多数按一定方向在某区域内活动。大多数雹云移向从西北向东南，占64.6%；自北向南的占19.4%；自西向东的占6.1%；逆高空风移动和停滞少动的只占极少数，各为4.9%。

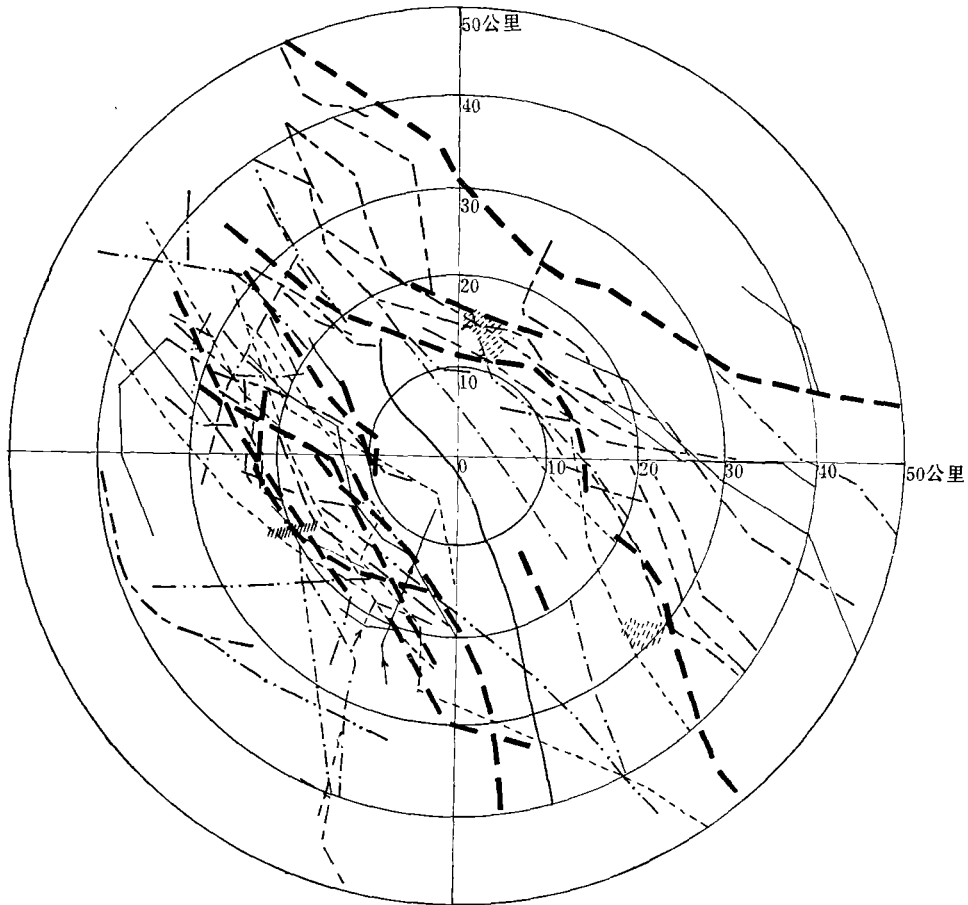


图3 平凉地区1973—1978年雹云回波路径图  
(73—, 74—, 75—, 76—, 77—, 78—)

根据雹云移动主要路径，密集情况，活动范围，划分了平凉地区雹云回波五个活动区(图1)，据分区再统计各区内冰雹次数和灾害性冰雹次数(表1)。表中说明了I区雹云活动最频繁，占冰雹总次数的48.8%，其中灾害性冰雹占22.5%；II区雹云总次数虽仅占28.0%，但灾害性冰雹却占47.5%，是各区中灾害性冰雹最多的；V区无论总次数和灾害性冰雹次数都最少。由此可见，平凉地区紧挨六盘山东侧20—30公里以内，由于山脉地形的作用造成一个多雹区。但山区雹云并不是最强，最强的地方在离山脉30公里的西北—东南向狭长地带，可能与从西北方来的雹云系统直接影响，又受山脉下坡作用、背风波作用综合影响有关。

表 1 各区冰雹、灾害性冰雹次数及百分比

分 区	I	II	III	IV	V	小 计
冰雹次数	40	23	8	8	3	82
%	48.8	28.0	9.8	9.8	3.6	100
灾害性冰雹次数	9	19	5	5	2	40
%	22.5	47.5	12.5	12.5	5.0	100

## 2. 雹云雷达回波与高空风的关系

我们认为雹云回波移动一方面和高空风密切相关又和雹云本身发展特点(如水分累积带的高度,发展阶段等)有联系。根据平凉雷达观测识别雹云实践,发现强回波(指 $Z_e \geq 36$  dbZ)顶高大于6公里(离地高度)和反射率随高度分布在中空有较大值是判别冰雹云的较好指标,为此选离地6公里的风作为高空引导气流。比较六年雹云回波移动与这一高度气流的关系得表2。可见雹云回波的移动大致与6公里的高空风一致。回波移向主要为右偏,右偏角 $< 50^\circ$ ,回波移速相差多在0—20公里/时之间,几乎全较高空风慢(这里高空风取的是07时测风资料,雹云发生在傍晚的取19时的测风资料)。

表 2 雹云回波移向、移速与6公里高空风比较表

	移 向						移 速	
	顺高空风	右 偏		左 偏	逆高空风	停滞少动	$< 20$ 公里/时	$\geq 20$ 公里/时
		$< 50^\circ$	$\geq 50^\circ$					
次 数	12	23	10	2	4	4	45	12
百分比	21.8	41.8	18.2	3.6	7.3	7.3	78.9	21.1

当雹云发展到成熟阶段,往往是最强盛时期,回波移向与高空风的交角更趋加大,即更偏向右侧,回波移速则明显减慢。山区发生发展的雹云回波,其移动与6公里高空风风向风速偏差较大,有使回波沿山走,移速减慢的现象。当雹暴系统处在副高西部边缘时,由于副高不断西伸或当流场有辐合,雹云回波表现为合并或顺气旋性方向北上时,能出现回波逆高空风的运动(图略)。回波移向偏于高空风左侧和移速超过高空风速的,大多往往是在雹云回波前方左侧出现新生回波,加强发展,替代老的逐渐减弱的回波,即不连续传播的情况下才产生。

## 3. 各类雹暴移动特征

雹云移动除与高空风有关外,还和雹云形成,发展阶段,雹云结构有关。国内外已经作了些雹暴分类的工作<sup>[3-4]</sup>。这里只对平凉地区各类雹云的移动取几个个例作如下讨论。

1) 超级单体雹暴移动:平凉地区出现超级单体风暴较少,从观测到的几次,可以看到它们有明显的偏高空风右移现象,而且雹暴愈强,右移偏角愈大。

1976年6月4日是一次较典型的超级单体，其移动路径呈明显的“S”形(图4a)。在16<sup>49</sup>—20<sup>00</sup>三个多小时的移动过程中，始终由一个大单体支配。单体水平尺度长约55公里，宽约25公里。3°低仰角PPI最大回波强度 $\geq 56$  dbZ，19<sup>50</sup>在PPI上还观测到钩状回波。从RHI剖面看，回波顶高度14.5公里，46 dbZ强回波顶高10公里，温度低于-40°C，并较长时间都维持有悬挂回波，穹窿和回波墙，反映了持续的上升气流流入流区(图4b)。对应地面大面积降了蚕豆到核桃大的冰雹，最大冰雹大如鸡蛋，长轴4.5cm。这次超级单体移动路径偏在高空风右侧，随着超级单体的发展右偏加大，19<sup>20-50</sup>是地面降雹最大时刻，这时右偏角也最大，而移速达到最小。最大降雹(19<sup>50</sup>)以后，路径右偏减小。

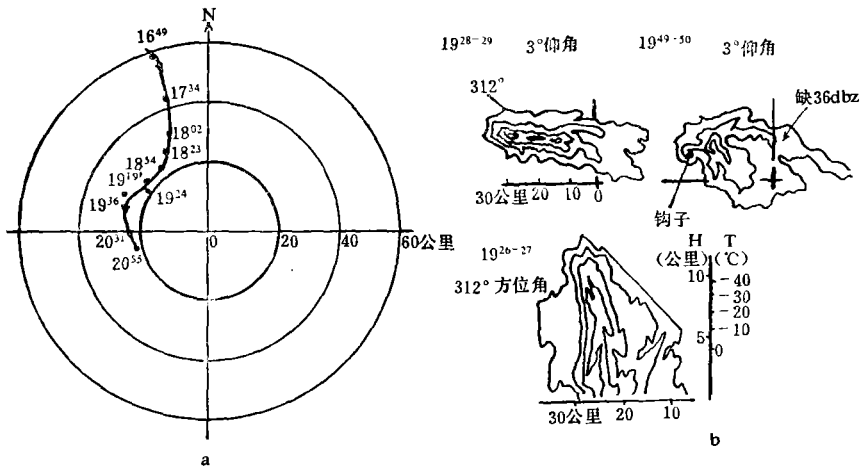


图4 1976年6月4日平凉超级单体移动路径及其PPI, RHI选例  
(等值线由外及里分别为00, 26, 36, 46 dbZ)

2) 多单体雹暴的传播和移动：在平凉地区更多地观测到的是多单体雹暴，1977年6月25日观测到一次多单体雹暴，在地面降了2cm左右的冰雹，它是由有组织的发展和移动按一定方式进行的单体群组成。图5a是18<sup>11</sup>时、6.9°仰角的PPI和290°、333°的RHI剖面。在PPI上可同时看到三个处于不同发展阶段的单体，①、②、④分别代表衰老、成熟、初生阶段(北侧那个单体是单体①分裂出去的另一单体)。跟踪这个多单体雹暴的各个单体移动及传播，可以清楚地见到单体初生、发展、成熟、消亡四个完整的生消过程(图5b)，即只有处于雹暴云体前进方向右侧的单体能够移动、发展并入到雹暴复合体中，同时相当快地增长变成雹暴的中心，而原先的单体逐渐衰亡，另一个新单体又形成。这次单体的运动偏于高空风左侧，雹暴整体不连续运动偏在高空风右侧，移速与高空气流相当。

3) 合并雹云的发展和移动：合并雹云常发生在气团内部风向有辐合的地区，它是由多个孤立相近的小单体迅速发展合并形成。根据我们多次对对流云合并成雹云的观测，发现一般 $Z_e \leq 26$  dbZ的回波区可融合在一起，更强的回波中心不能合并成一体，合并后云体常常猛烈发展而造成降雹。

1976年6月29日是一次雹云合并的典型例子，回波演变及移动见图6。由图中可

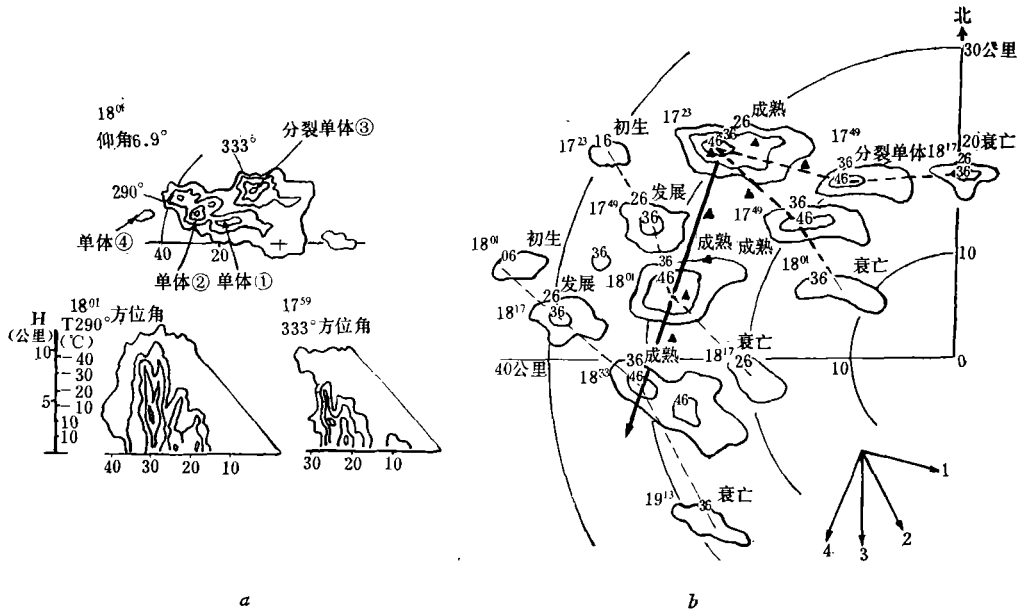


图 5 1977 年 6 月 25 日多单体雹暴及其移动、传播  
 (a. 等值线由外及里分别为 00, 26, 36, 46 dbZ; b. 图例中 1 表示分裂单体的移动方向, 2 表示单体移动方向, 3 表示高空风方向, 4 表示雹暴不连续传播。)

见, 14<sup>16</sup>—14<sup>37</sup>是一群回波单体新生、发展、团聚、合并的情况, 14<sup>37</sup>几个小单体已完全合并成 A 云, (浓积云演变成积雨云)。14<sup>47</sup>—15<sup>16</sup> G 云原地迅速发展变大, A 云缓慢向东南移动, 同时 A 云、G 云南部又有新单体 D、E 发展, 最后 A、G 云合并(此为积雨云之间的合并, 但没有降雹)。14<sup>16</sup>—14<sup>37</sup> B 云迅速发展并缓慢东移, 至 14<sup>37</sup>—14<sup>47</sup> 已成熟少动, 以后它东北方又有新生云体 F 发展, 15<sup>02</sup>—16<sup>16</sup> B 云向东北猛伸, 此时 A、G 云也南压, 使 A、G、B 云合并到一起成为一块巨大的雹云, 它停滞少动, 地面降了蚕豆大的冰雹。这种合并雹云移动的特点是移速缓慢(<10 公里/小时), 无一定方向, 往往是向发展相对最猛烈的那个单体靠拢, 回波表现停滞少动。

4) 带状(飚线)雹暴移动: 带状雹暴往往和天气学尺度的扰动系统密切相关, 它常常发生在锋面、高空槽等天气系统附近。回波呈带状排列, 长度可达 100 公里以上, 宽度约 20 公里左右, 中频衰减后可同时看到几个强单体并排出现, 其形成和新陈代谢过程是带状右端形成一个个新单体, 并发展、壮大。左侧老单体减弱、消亡。各强单体下都可产生降雹, 整个带状回波随高空风移动, 或略有右移。图 7 是 1975 年 7 月 14 日带状雹暴 PPI(3°仰角)回波图及其移动。

5) 弱雹暴及其移动: 由一个呈对称分布的单体构成, 降下的冰雹尺度较小、降雹范围窄、时间短。在平凉地区最常见的是在六盘山上空形成一排对流积云, 这是由于地形的动力、热力作用造成的, 经过一段酝酿的过程, 其中某单体加强降雹。此时云少动或缓慢随高空风移动。图 8 是 1975 年 8 月 2 日固原县什字公社弱单体雹暴的 PPI 和 RHI 剖面图。从 14<sup>59</sup>到 15<sup>43</sup>单体几乎维持未动, 地面降了几分钟小雹。

综上所述, 各类雹暴的移动特点可列表如下:

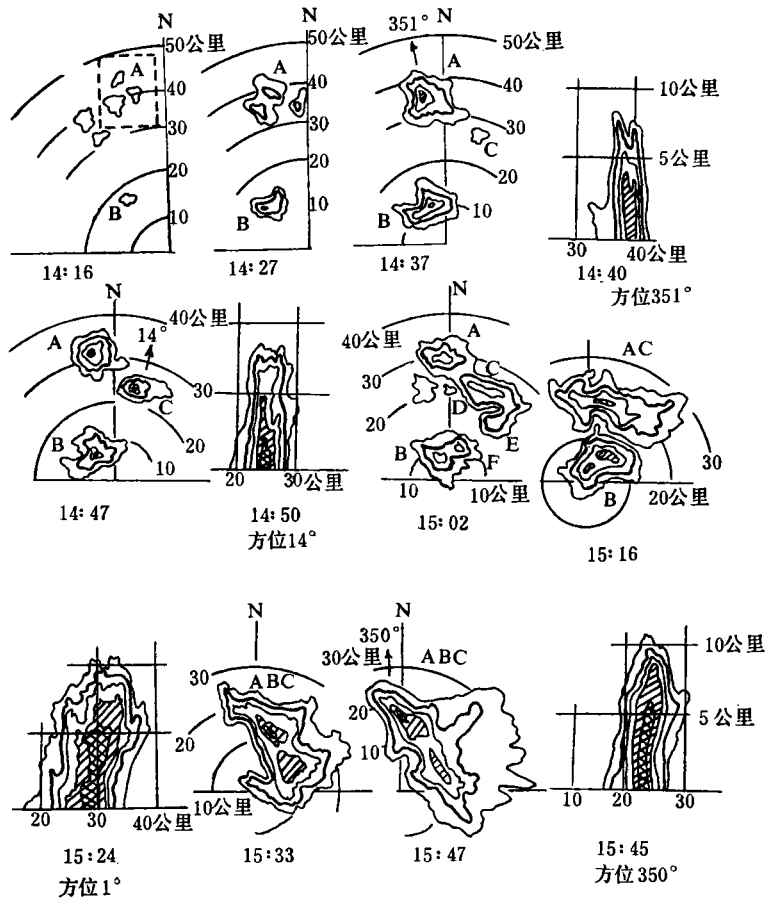


图 6 1976 年 6 月 29 日合并雹云重要时刻 PPI 和 RHI 的演变图  
(等值线由外及里分别代表 00、16、26、36、46 dbZ)

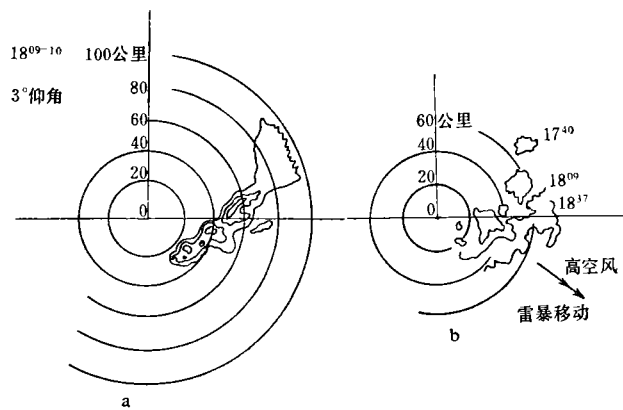


图 7 1975 年 7 月 14 日带状雹暴及其移动  
(a. 等值线由外及里分别为 00、16、26 dbZ; b. 雹暴不同时刻的前沿位置(等值线为 16 dbZ))

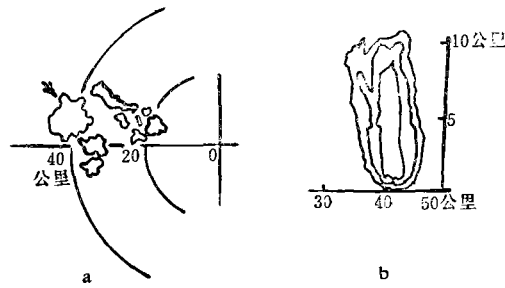


图 8 什字弱单体雷暴的 PPI 和 RHI

(a. 1975 年 8 月 2 日 15 时 13 分, 仰角  $3^\circ$ , 等值线为 26 dBZ; b. 1975 年 8 月 2 日 15 时 12 分, 方位  $290^\circ$ , 等值线由外及里各为 16, 26, 36 dBZ)

雷暴类别	6公里高空风 风 向	单体移动相 对高空风偏向	雷暴移动相 对高空风偏向	6公里高 空风移速	风暴移速
超级单体雷暴	中	右偏	右偏	1	$\frac{1}{6}$ — $\frac{2}{3}$
多单体雷暴	中	左偏	右偏	1	$\frac{1}{2}$ —1
合并雷暴	中	不定	不定	1	少动
带状雷暴	中	0 或略右偏	0 或略右偏	1	$\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$
弱雷暴	中	0	0	1	停滞少动— $\frac{1}{2}$

## 参 考 文 献

- [1] Roger, C. Whiton., On the use of radar in identifying Tomadoes and severe thunderstorm s AD. 726983, Technical report 243, 1971.
- [2] Marwitz, J. D., The structure and motion of severe hailstorms, Part I: Supercell storms, *J. Appl. Meteor.*, 11, 166—179, 1972a—, The structure and motion of severe hailstorms, Part II: Multicell storms, *J. Appl. Meteor.*, 11, 180—188, 1972 b.
- [3] Browning, K. A., The structure and mechanisms of hailstorms, *Meteor. Monographs*, 16(38), 1—4, 1977.
- [4] 王昂生、黄美元, 冰雹和防雹研究述评, 大气科学, 第二卷, 第 1 期 76—84, 1978.

## 更 正

《气象学报》第 37 卷第 4 期 (1979) 10—15 页符淙斌的文章“用卫星云图分析平均经圈环流和纬圈环流的一个尝试”, 图 1 与图 3 应互换。