

一次指状回波的个例分析

王昂生 洪延超 徐乃璋

(中国科学院大气物理研究所)

一、典型指状回波的分析

指状回波是指雷达 PPI 回波上一个突出的外伸手指状的回波。其识别的判据为:

1. 指状回波是 PPI 图象上突出的指状部分,它外伸于回波体外,象手指,伸出最长部分的水平尺度不应小于母体回波尺度的 $1/4$ 。

2. 指状部位具有较高的反射率值,是云中强盛或极强部位,而不是回波弱区。

本文对 1976 年 7 月 22 日山西昔阳县的一次指状回波实例进行分析,分析指状回波的发生、发展、和消亡过程。在该日午后 15 时略后,昔阳县三都——杜庄公社一带,一个弱单体*雹云迅速形成并降雪,同时受到猛烈的人工影响。15 时 50 分后开始出现南北两个回波中心,北部新生中心明显增长发展,并向东北方移去,南部原母体中心少动且逐渐消亡。在北部新生中心发展过程中,回波出现分裂,并于 16 时 04 分到 16 时 26 分间呈现指状回波,尤以 16 时 15 分前后最典型。其后南部原母体中心消亡,北部新生指状回波发展并移向东北,在指状回波发展旺盛的 16 时 30 分,于指状强回波部位下方降了小冰雹。再经历半个多小时,回波消亡。

图 1 是这一过程的回波演变概况。图中共给出 9 个时刻,仰角都为 3° 的 PPI 回波廓

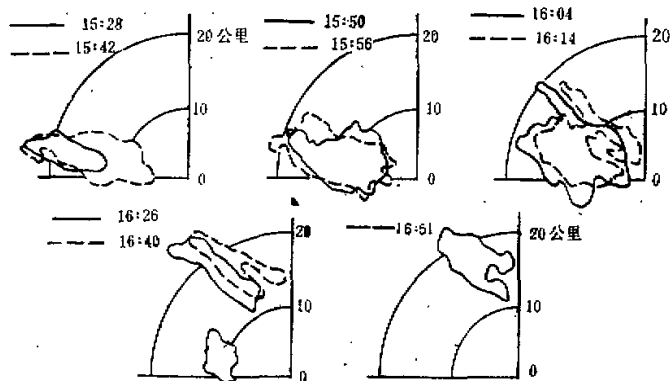


图 1 指状回波随时间演变概况
仰角 3° , 衰减 20 分贝(除 16 时 40 分为衰减 30 分贝外)

1979 年 1 月 12 日收到修改稿。

* 王昂生、洪延超等,昔阳地区冰雹云物理研究。全国人工影响天气科学技术会议,1978.2., 南宁。

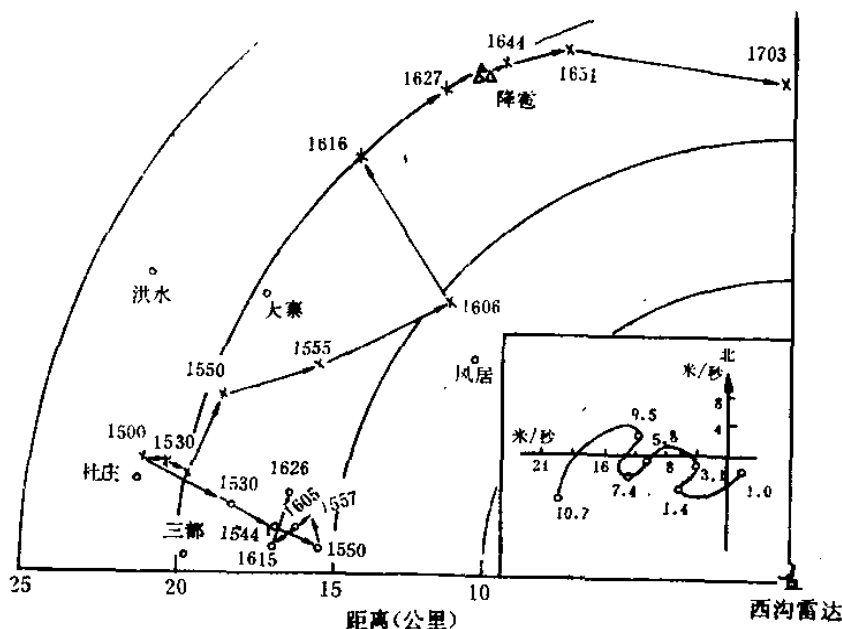


图2 回波强区几何中心位移图,(附环境风矢图)

线,这都是衰减 20 分贝的回波(16 时 40 分除外,它为衰减 30 分贝)。图 2 给出这天强回波区几何中心位移图,图右下角是当天 07 时太原探空风矢图。图 2 风矢表明这天环境为较弱西风,风切变较小。在云体出现到指状回波初生的近一个小时里,回波位移不大,同时南部母体回波位移较少,这与弱单体母云少动的特征有关。在指状回波新生并发展后,北部回波由原母云 1 小时移动约 7 公里变为移速超过 20 公里/小时的较快运动,移向东北方。图 1 回波强区演变可以看到指状回波的演变轮廓,在 16 时 04 分起一个突出的指状回波伸出,以后逐渐发展增长脱离母体。16 时 26 分,20 分贝衰减的指状回波已与母体脱离,但无衰减回波仍连为一体。图 1 中下一时刻(16 时 40 分)的强回波区已不再有母云回波了。整个风暴已由新生单体取代母体,云向东北方传播式的运动。

根据不同衰减挡雷达回波的连续观测资料,可以认识指状回波的形成。在 15 时 30 分到 15 时 42 分于三都——杜庄一带单体雹云中出现强降雹并进行人工影响后,回波明显向东北扩展,同时在回波西北侧激起了新生小回波单体,在 15 时 45—50 分就以零分贝出现,15 时 57 分在 4.1 到 6.5 公里高度(海拔高度)的主回波西北明显可见新生单体。图 3 是 15 时 57 分的 8° 仰角雷达回波照片,回波 A 是新生单体回波,它已出现约 10 分钟,此时已具有 20 分贝的强度。同时,回波中心已开始分裂为南北中心,北部次中心刚开始出现,在图 3 回波上已可在箭头所指处表明有一弱的指状伸出。



图3 15 时 57 分 8° 仰角的雷达回波照片,

A 是新生单体,箭头指示处为指状回波开始出现处

此后,新生单体发展加快,并与主体连成一体,促成回波西北角明显呈现突起部分。在接近主体处又有 B、C、D 单体新生,似为 A 单体向云体方向波动传播影响造成,其中最靠近母云的 D 单体发展条件最好,在 16 时 06 分已较 A、B、C 单

体突出,成为后来指状回波的主要单体。图4是16时06分仰角 8° 的PPI回波素描图。由图可见,云主体西北部新生单体繁生,与主体连成一体有A、B、C、D四个单体,它们已达20分贝强度,形成回波西北部突出区域。同时在区外尚有E单体形成,但较弱。在各个新生单体中,此时以D单体尺度较大。

同时母云体本身也分裂为南北两块回波(20分贝已分开,可参看图4),各区中有一些较强(衰减30分贝)的中心。这个分裂是由上层向下层逐步分开的,在图4的 8° 仰角层内,20分贝回波已几乎全部分开,但 3° 剖面层(参看图1)则是连在一起的。

由于新生单体出现及母体分裂,在新生单体系列A、B、C、D发展与北部分裂云区并合的地方,开始出现了指状回波。图1里16时04分伸出的指状区就正是上层(8° 仰角层)D单体新生扩展与北部分裂云体并合处。

16时15分前后,指状回波如图5给出的 3° 、 8° 和 12° 层都明显可见。为了分析此时

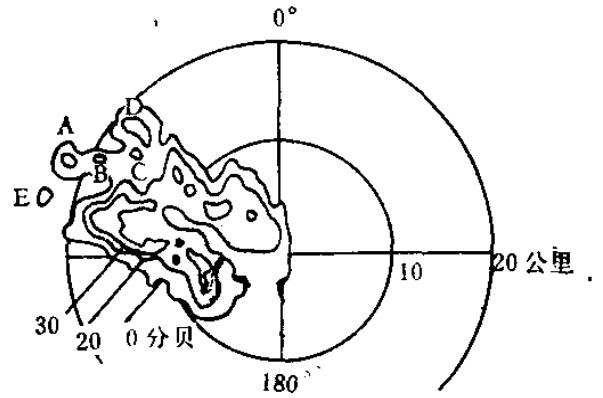


图4 16时06分 8° 仰角回波素描图, 回波廓线为衰减0、20和30分贝

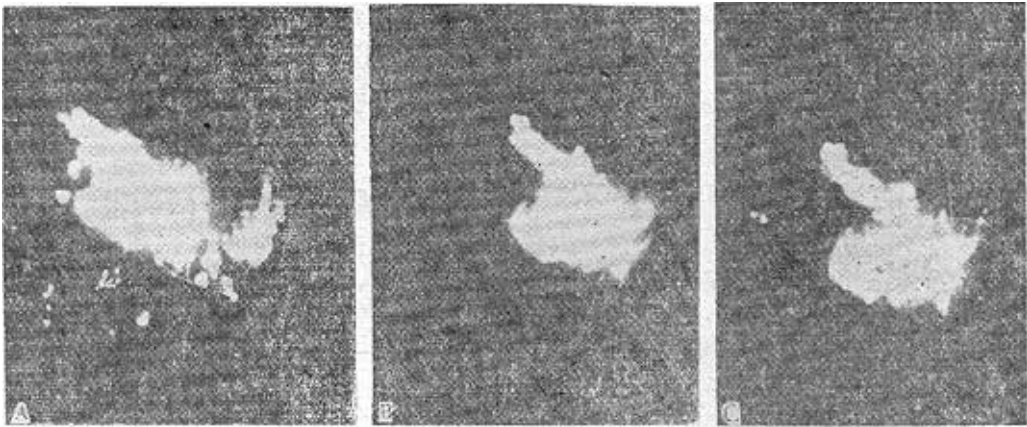


图5 指状回波外廓雷达照片

(A) 16时14分, 3° , (B) 16时15分, 8° , (C) 16时16分, 12° ,

回波特征,在图6里给出图5(A)、(B)、(C)对应的回波素描图(分别为左图、右图和下图);从以上资料中我们可以比较完整地看到这个指状回波的基本特征。

首先,在这个云体的中部和下部具有明显的指状回波,外伸指状长度可达母云尺度 $1/2-2/3$ 。指状部位具有高的反射率值,这个指状回波各层的零和10分贝区与母体连在一起,低层衰减20分贝也连成一体,且具有衰减30分贝的强中心。当指状形成时,母体原有的北部中心与新单体并合,北部强中心出现在指状区,所以指状区回波反射率梯度较大;这个指状区由云体中层向下逐步扩展和加宽,此时云体中层指状尤为突出。

图7给出了16时18分,穿过指状强区的 317° 方位的距离——高度显示(RHI)照片(左)和素描图(右)。指状回波区是由在此方位上自15—25公里区的对流单体造成的,这

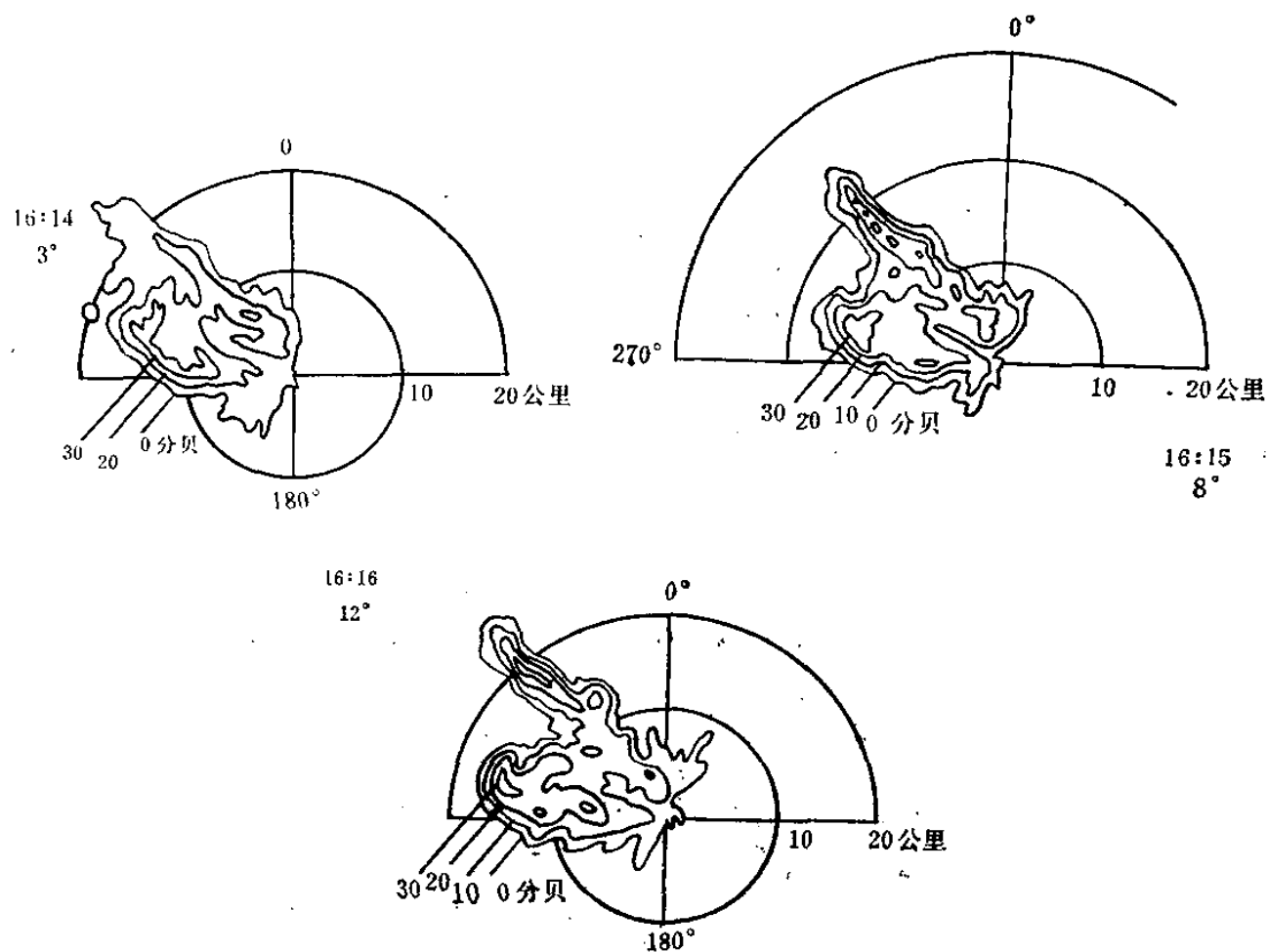


图 6 对应图 5 (A)、(B)、(C) 的回波素描图(左图、右图和下图)

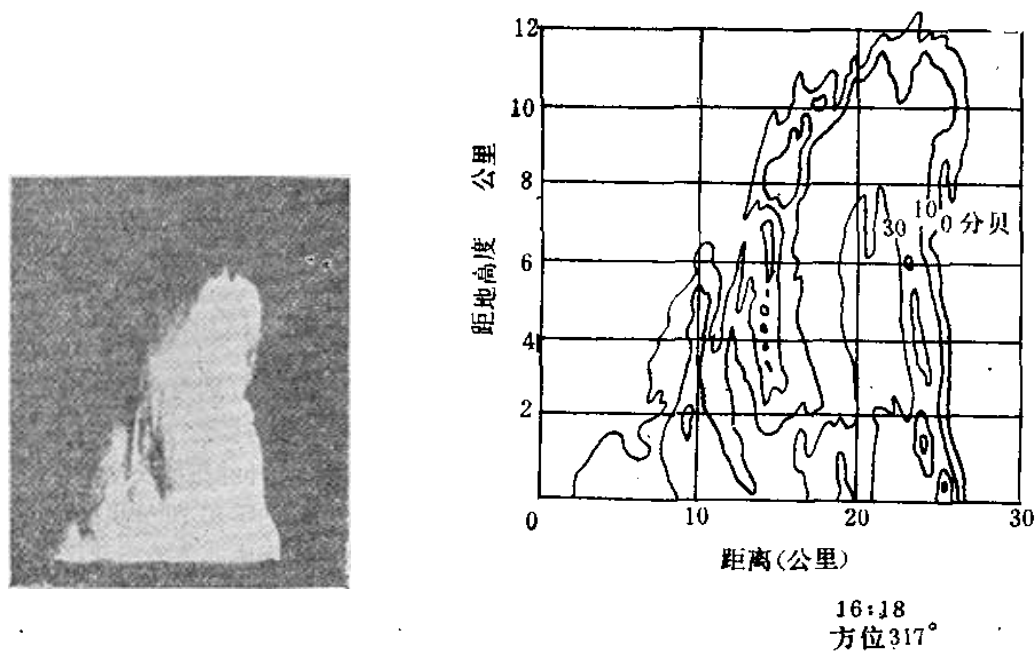


图 7 16 时 18 分通过指状强回波区的 RHI 照片(左)和素描图(右),
高度距标 2 公里,水平距标 10 公里。

与前面的新生单体发展分析相一致。与观测一直跟踪的母云强回波 RHI 资料对比,表明此时母云南北中心均已减弱,如 16 时 17 分南部强区仅达 12 公里高(海拔高度),衰减 30 分贝的云区仅 4 公里厚;相比之下,图 7 所示指状区云高达 13.5 公里(海拔高度),衰减 30 分贝云区亦厚 8 公里,属于一新生发展对流单体,但它比 15 时 30—40 分的降雹云体为弱。

上述 PPI 上的指状形态是与一定的云物理过程有关的。在此个例中,指状回波出现是与新生单体在母体回波一侧出现、迅速增长并与母云部分强区并合过程相关的。由于这一部位突出于母云之外,易于形成突出的指状形态;又由于这里新生了强的对流单体、并与母云并合,所以回波较强,回波生长到较高高度,容易形成冰雹;加之,指状宽度远比长度小,回波强,因而反射率梯度较大。所以人们根据以上的特点来判别指状回波,并用以帮助识别雹云。

指状回波存在时间不太长,在这个个例中以较为明显的指状回波出现到消亡也仅 20 分钟,其间指状也是在演变的。

图 8(A)、(B)、(C) 分别为 16 时 26、28 和 30 分对 3° 、 8° 和 12° 仰角拍下的零分贝回

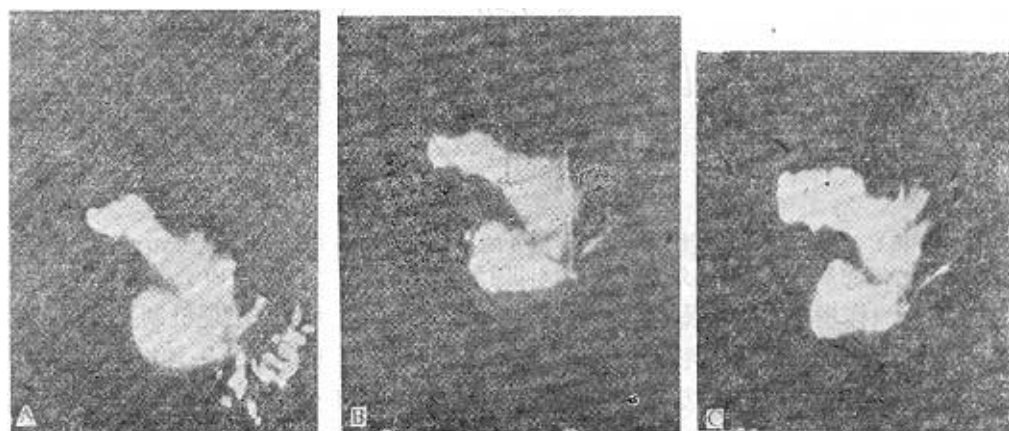


图 8 指状回波演变和消亡图象(零分贝)

(A) 16 时 26 分, 3° (B) 16 时 28 分, 8° , (C) 16 时 30 分, 12°

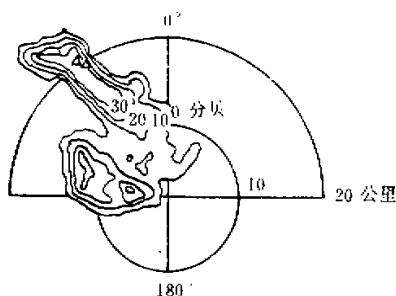
波照片;图 9(A)、(B) 和 (C) 给出相应的回波素描图,回波廓线为衰减零、10、20 和 30 分贝。图 8 和图 9 表明了典型的指状回波的演变和消亡。图 8 的(A)是一个明显的外伸指状,但内部南北两个强回波区已明显分裂,10 分贝区已不复相联了(参看图 9(A)),且指状强回波区已迅速扩展,南部回波则逐趋消亡。图 8 和图 9 的(B)、(C) 中层情况已见指状区完全脱离母云成为一个单独的云体了。资料表明,此时指状区对流单体的发展达到最旺盛阶段,并于 16 时 30—33 分在指状强区下方的界都公社槐桧桧降下小冰雹。此后,像图 1 所示那样指状区单体也逐渐消亡。

二、指状回波的一种形成机制

我们的观测表明,指状回波出现并不都象 Browning 指出的右移风暴那样,要在强烈

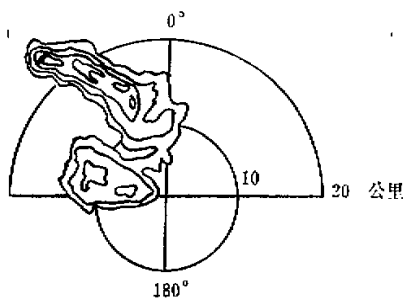
(A) 16:26

3°



(B) 16:28

8°



(C) 16:30

12°

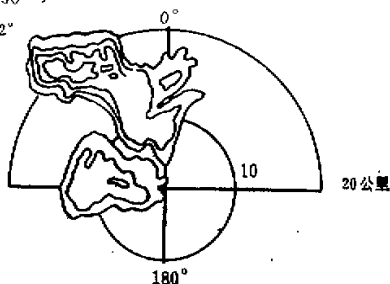


图 9 对应于图 8 的各个回波素描图

各图最外廓线为零分贝, 向内廓线间隔为衰减 10 分贝。距圈为 10 公里。

持续低层入流作用下, 在风暴移向右后侧形成, 其钩状、指状回波出现机制是气旋式入流的上升气流及降水物在其中形成后降落造成。这里我们看到的是另一种机制, 即: 新生强对流单体在母云边沿有利发展的部位(一般也是由于上升气流入流区, 或由于地形抬升等作用造成)迅速发展时, 与母云强回波区并合, 加速云区这一局部的垂直和水平发展, 而形成外伸指状回波。这里的单体发展强烈, 又是新生单体, 所以一般成为云体中强烈或极强部位, 顶部甚高, 反射率梯度很大, 常常具备降雪条件, 因而指状回波成为指示降雪出现的一种形态。这一机制可以用如图 10 的过程来示意。

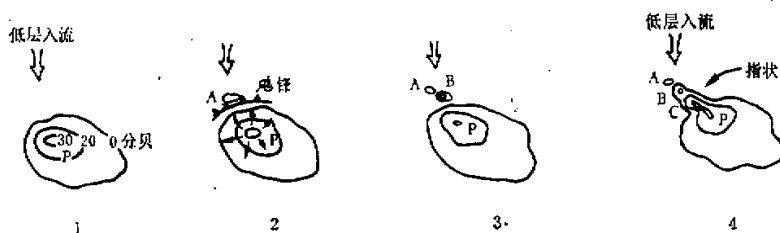


图 10 指状回波形成机制示意图。

1. 母云 P 成熟; 2. 激起新单体 A; 3. 新单体加速发展;
4. 新单体与母云合并并形成指状回波。

设一个少动的较对称单体 P, 它的强区接近入流部位(如图 10—1); P 单体成熟降水, 在低层向四周扩展(见图 10—2), 在与上升气流相峙处, 易于形成新对流单体 A; 当 P 降水愈强, 则随减弱而易激发接近母云 P 的更强的新单体 B (见图 10—3); 当上升气流不断供应, 新单体加速发展并与母体并合时, 局地 C 单体达到十分强烈, 形成指状回波, 易于降雹(见图 10—4)。这一模式类同 76 年 7 月 22 日实例; 当母云 P 是运动的时候, 上升气流将加强, 这一过程将更强烈。这种机制突出地反映了减小对母云的严格要求, 它并不一定要 Browning 提出的超级单体才能形成指状回波。这比较接近实际, 像 76 年 7 月 22 日的例子就只是一个弱单体母云, 后来也形成了十分典型的指状回波, 以后地面降了冰雹。气流辐合、地形抬升、局地加热等条件强烈时, 新生单体出现且能与母云造成并合时, 就有可能出现指状回波, 但是要造成能产生降雹、有足够尺度外伸指状和相当强度的局部指状则并不是容易的, 所以也不会轻而易举就发现指状回波。

三、小 结

1. 指状回波是指 PPI 图象上具有较高反射率的突出手指状回波, 外伸尺度不应小于母体回波尺度的 1/4。

2. 本文介绍了 1976 年 7 月 22 日比较完整观测的一次典型指状回波发生、发展和消亡过程, 表明指状区新生单体的迅速增长及与母云并合是指状回波出现和酝酿降雹的关键因素。

3. 文章提出了一种更为普遍的指状回波形成机制, 即: 新生单体(或传播单体系列)在母云回波外沿迅速形成、增长并和母云强回波并合造成局部强烈而易于降雹的指状特征。

4. 依据本文结果, 得到了图 10 所示的一种指状回波形成机制模式图。