

两次雹云的雷达观测分析

朱国森

天气雷达是当前探测雹云的有效工具之一。近年来，各地广泛利用这种工具观测雹云的演变规律和垂直剖面结构，积累了不少有关雹云回波特征的资料。它对于准确识别雹云，深入研究雹云和有效影响雹云都是十分宝贵的资料。

虽然，3厘米雷达主要缺点是在暴雨中被强烈吸收而引起的回波失真和难以确定各参数的误差。但是，我们这些年利用711天气雷达观测雹云的结果表明，距离适中的雹云回波资料可以部分地揭示出云体结构的某些特征，能够反映雹云的运动状况。分析显示器上的回波形状和强度变化，有助于认识冰雹云。本文给出两块雹云作为例子来进行分析讨论。

一、1978年6月8日的雹云

6月8日08时张家口市一带上空处于高空低涡前（见图1），是一个辐合区，冷锋在当天20时才经过该市（见图2）。从当天的探空层结分析中，也可看出午后利于出现强对流天气。

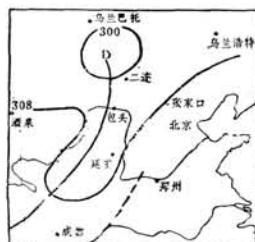


图1 8日08时700毫巴图
(虚线为20时槽线位置)

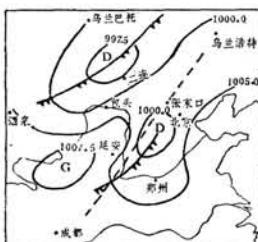


图2 8日14时地面图
(虚线为20时锋面位置)

图3是一组15时23分至16时29分的全增益的回波连续演变照片。从图中可以看出雹云西北侧的回波逐渐减弱，而西南侧的回波在发展。几块回波都由西南向东北偏北方向移动。从雷达发现到主体回波减弱维持了近两个小时。

从图4可以看出雹云主体回波A是在一条短带中发展起来的一个强而密实的回波体。它边缘清晰，轮廓分明，类似“鱼状”，十分突出，有两百多平方公里的面积。图5是回波主体A的素描图，每条回波廓线差10分贝，最外层是无衰减等回波线。强中心在雹云的右后侧，强度梯度很大。在其中部还出现一个次强中心。

图6是对雹云A沿图5中PQ线作垂直剖面观测，并用不同增益扫描取得的回波廓线素描。测站在雹云移向的右侧。取样方位和雹云移向夹角78度。一般讲，在这个方位剖面取样观测，只能看到雹云两侧呈花椰菜状结构，而无明显的砧状，但这次却观测到明显的砧状结构。

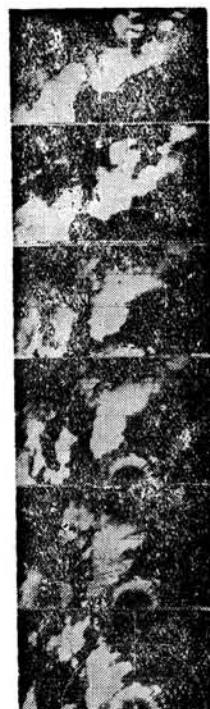


图3 15时23分至16时29分雷达回波演变
(仰角3°, 衰减0分贝, 每圈10公里, 该机距离圈线性较差)



图4 15时52分平显雹云回波
(仰角3°, 衰减0分贝,
每圈10公里)

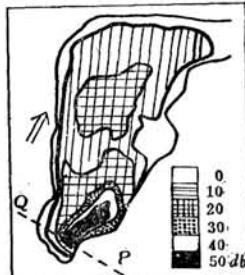


图5 主体A平显素描
(仰角3°, 15时
41—44分)

从图6可以看出雹云水平尺度有30公里，云体高耸宽广，高达11.5公里，顶部已伸展到对流层顶(13010米)附近，而且雹云还在发展中。由于云塔起伏更替，顶部显得不平整。参考探空资料，云顶环境温度达到-52°C。强回波区达到50dBZ，高度达10公里，顶部环境温度-41°C，负温区厚度8500米。

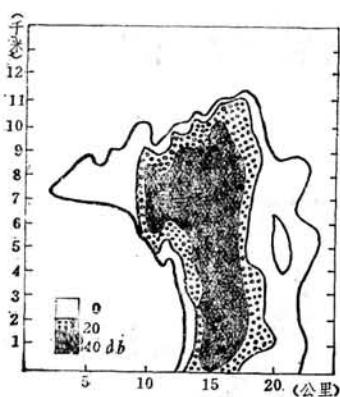


图 6 高显素描图
(15时39—40分,
方位305°)

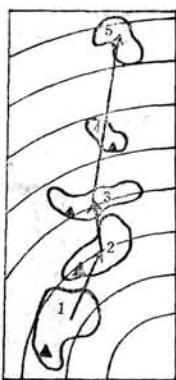


图 7 主体A强核轨迹
(每圈10公里)

近测站一侧有一个无回波区，和云内强回波区间有一个大反射率梯度区。

图 7 是主体回波 A 的强回波区的运动轨迹。从图中可以看出雹云前后运动方向是不一致的，其速度也不一样。强回波区在 1 的位置从 15 时 23 分开始以每小时 40 公里的速度向 23 度方向移动，经过 26 分钟到达 2 的位置。然后左偏，以每小时 19 公里的速度向 350 度方向移动，38 分钟到达 3 的位置。然后折向右，以每小时 50 公里的速度向 10 度方向移动，16 分钟到达 4 的位置。以后再以 67 公里的时速继续向 10 度方向移动，最后到达 5 的位置。

分析表 1 风的资料，雹云经过地区附近的万全、张家口、怀安在 15 时到 16 时这段时间吹东南或东东南风。估计早晨和中午中空风变化不大，这里引用了张家口站 07 时高空风资料（表 2）。从表中可以看出，2000 米以上都是吹西南风。2000—10000 米高空风平均风向是 222 度，平均风速为 70.5 公里/小时。

表 1 1978 年 6 月 8 日有关台站地面风资料 (米/秒)

站名	时间		12时		13时		14时		15时		16时		17时		18时	
	风向	速	风向	速	风向	速	风向	速	风向	速	风向	速	风向	速	风向	速
宣化	ENE	1.3	SE	1.7	SE	5.0	SE	10.7	SSE	13.0	SE	11.3	SE	8.0		
张家口市	ENE	2.7	SE	2.7	SE	3.3	SE	3.7	ESE	7.3	ESE	9.7	ESE	6.7		
怀安	NNW	0.3	ESE	2.0	E	3.0	ESE	4.0	NE	0.3	NW	7.3	NW	6.0		
万全	E	2.0	ESE	3.0	ESE	3.0	SE	2.3	WSW	5.7	ESE	8.3	N	5.7		

表 2 1978 年 6 月 8 日 07 时张家口市高空风资料 (米/秒)

距海平面高度 (千米)																	
2.0		3.0		4.0		5.0		6.0		7.0		8.0		9.0		10.0	
向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速
276	6	224	8	215	8	205	22	222	22	227	28	231	23	229	18	237	22

分析主体回波 A 的运动轨迹，可发现雹云运动过程的路径呈 S 形。平均风向是 222 度，而雹云移动的三个阶段都左偏于平均风向（偏左 16—52°）。左偏原因之一可能是受地形的影响。

图 8 是张家口地区地形示意图。张家口地区西北高，东南低，北部是蒙古高原东南边缘的一部分，海拔 1400—1600 米，称为坝上。坝下山岳起伏，地形复杂。桑干河、洋河流经坝下中部地区，形成了狭窄的河谷盆地，海拔高度在 500—800 米之间，地势较低。在山地和河谷盆地之间有阴山余脉和恒山余脉所组成的半山半川的浅山丘陵地带。山脉基本呈东西走向。阴山余脉（简称 a、b、c）高 1800 余米。南部为小五台山山地。东北部为大马山山地，海拔高度一般在 1300—1700 米。因此，雹云在引导气流作用下若遇山脉阻挡，只好沿着山谷和洋河岸边移动，这就会向左偏离平均风向。同时，从图 3 看，15 时 23 分雹云主体



图 8 张家口地区地形、雹云轨迹(每圈50公里)
和降雹路径(右下图, 每圈10公里)

回波西南面有一块对流云，本身在减弱并和主体雹云合并，这种流场也是单体左偏的一个原因。雹云由2向3的位置移动时偏离达到55度。从图8看雹云前进方向全被山脉阻挡，唯有a、b山间有一谷口，于是只好折向，取道山口向偏北方向移去。出山口以后地形影响较小，雹云便再转朝东北方向移动到达4的位置，此时仍然左偏平均风向，从图3看，在主体雹云北边、东北边还有对流云存在，继续左偏与流场相互作用仍有关系。

图8的右下图是这天地面降雹实况。图中1区为怀安县降雹区，第六屯公社15时15—30分地面见雹；2区为万全县降雹区，北沙城、安家堡、郭磊庄、高庙堡冰雹如杏大，小似赤豆，进入北新屯、梁家庄（16时开始降雹）成为“积聚点”，十七万一千四百万亩庄稼受灾，最大冰雹直径7厘米；3区为张北县降雹区，城关公社、八一公社、台路沟公社、东营盘公社（16时10—30分）、大河公社都降雹，成灾七千余亩，前三个公社受灾重。最大冰雹直径5厘米。可见，主体回波A使地面受灾最重的时段在冰雹路径2—3之间，此时雹云正转朝山口移动，时速19公里。

本例说明在锋前暖区里一条雷暴群中出现的雹云，其走向左偏于中、下层的平均风向，主要受地形影响，也与云的发展和云场分布有关。雹云在移动过程中数次降雹，说明云中有一个能量累积、释放、再累积、再释放的过程，造成了“冰雹蛤蟆跳”的现象。单站降雹时间15—20分钟。降雹时雹云移速减慢，冰雹落在雹云移向的右后侧，与强中心位置吻合。最大雹块在偏转方向最大、移速最慢时降落。当雹云挥戈而行，逢山谷而入时，谷口狭管作用使雹云进入喇叭口地形后加强，也会造成地面降雹。

二、1978年7月9日雹云

图9是1978年7月9日下午观测到的一块多单体雹云的垂直剖面素描图。它由三个单体组成，各单体处于不同发展阶段。这块雹云是在高空槽前、地面锋区附近发展起来的。宣化一带的郭家湾、许家堡、罗家洼等地降雹。最大冰雹直径5厘米。

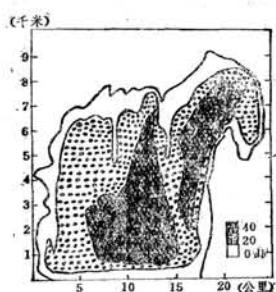


图9 高显素描图
(13时45—48分, 方位158°)

从图9可看出，在雹云回波前沿有强度和梯度很大的回波墙，在悬挂回波和回波墙之间是从低空倾斜地伸向最高回波顶的强回波穹窿。看来多单体也具有

类似超级单体那样的悬挂回波。回波顶高9300米，强回波区顶高8000米。

图10a是平显回波素描图，图10b是沿雹云OA方向垂直剖面全增益回波廓线的照片。

雹云向偏东(110°)方向移动，取样方位和雹云移向夹角48度。

从图10a、b可看出，悬挂回波在远离测站一侧，即雹云移向的右前方。

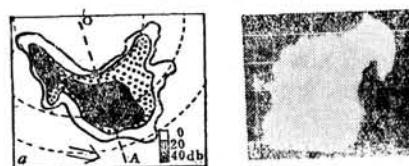


图10 a. 平显素描图(13时43—44分, 仰角3°, 每图10公里) b. 高显照片(13时45分, 衰减0分贝, 方位158°)

这一天14时地面风资料表明，雹云前进方向的几个县站都是吹东或偏东风，特别是离这块雹云不远的怀来县，从早晨到14时始终吹东南到南风。从探空资料上分析，张家口市07时测得1500米以下为东南风，3000米以上为偏西风；北京13时测得1500米以下也是东南风。这一天高空平均风向为260度，而雹云是向110度方向移动的。因此，雹云右偏平均风30度移动（利用张家口市07时探空资料），如果用北京台13时探空资料计算，雹云右偏于平均风59度移动。

三、雹云结构和入流区探讨

6月8日和7月9日两块雹云分别位于测站西北和偏南侧。前者左偏平均风，向偏北方向移动，后者右偏平均风朝偏东方向移去。它们的共同点是强回波区都分布在雹云右后侧，都存在一个无回波区，都具有悬挂回波。前者靠测站一侧与云内强回波区间有一个大反射率梯度区；后者背离测站一侧也有一个大反射率梯度区，悬挂回波十分明显。在悬挂回波与回波墙之间出现了强的回波穹窿。

由于上升气流使入流区内云滴不断上升而来不及长大，使该区域的雷达反射因子较小，回波显得较弱，或者根本显示不出来。由此推论，回波穹窿就是雹云中有组织的上升气流区。这一点已被许多观测事实所证实。本文中列举的两块雹云，从中、低层及地面风的定时资料，雹云结构和地面降雹实况看，6月8日雹云暖湿气流可能是从雹云右后侧进入，7月9日雹云入流区可能在雹云右前侧。但是缺少当时云体移向的宏观资料和当地低层风及地面风的记录，无法作出肯定的结论。

如果在今后的观测中丰富这些资料，作出结论性的回答。那么在目前国内缺少多普勒天气雷达的情况下，可以用711天气雷达等观测资料来推断气流入流位置，这将有助于深入研究冰雹云的结构和对其进行人工影响。