

河南省人工消雹作业判据研究

张素芬 鲍向东 牛淑贞

(河南省气象台, 郑州 450003)

提 要

使用河南省气象台站 1982~1997 年 4~8 月地面报表和同时期雷达回波资料统计分析了 40 次区域性冰雹过程(相邻 3 站以上降雹)的天气特征、回波参数特征, 找出了相关性较好的各种预报判据和多普勒天气雷达强度场、速度场上的图像特征, 为制作冰雹的短时预报、雷达监测及人工消雹工作提供科学的依据。

关键词: 冰雹 大尺度形势 中尺度特征 物理判据 雷达回波参数 人工消雹

引 言

冰雹是河南省重大灾害性天气之一。714CD 多普勒天气雷达是监测预报冰雹等强天气的有效工具。结合卫星云图和 3 小时省区域图, 运用 714CD 多普勒天气雷达进行监测, 认真分析其强度场和多普勒速度场上的图像特征, 从而可以及时发布冰雹具体落区预报。研究冰雹的气候特征、时空分布以及雷达回波参数和多普勒天气雷达强度场、速度场上的图像特征等, 对冰雹的监测预报和在多雹区有效地开展人工消雹、防灾减灾等工作具有十分重要的指导意义。

1 冰雹天气特征

1.1 冰雹天气的气候特征

据统计 1982~1997 年(4~8 月)河南省发生的 40 次区域性冰雹天气过程(24 小时内有 3 个以上相邻站降冰雹)发现, 多雹区位于北部山区或豫西丘陵地带, 如林县、安阳、鹤壁等, 位于太行山区东南侧弧形突出地带及伏牛山南侧的南阳盆地的镇平、方城、西峡。而河南省平原地区较少。出现多的月份主要是 6、7 两个月(分别为 11/40、10/40), 5、8 月份次之(各为 7 例), 4 月份最少(5 例)。降雹时间多在 14~22 时, 集中时间为 16~20 时。显然, 多雹区及 14~22 时是重要的警戒区与警戒时段; 16~20 时是冰雹预报

及人工消雹成败的最佳时段(见图 1)。

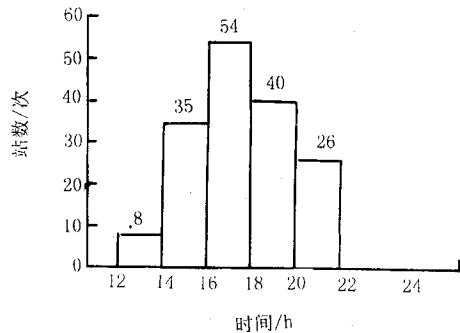


图 1 冰雹日分布

1.2 冰雹天气形势特征及影响区域

对 40 次降雹天气过程分析当日 08 时 500hPa 形势场发现, 不同降雹区对应着不同类型的天气背景。

1.2.1 华北冷涡型(10 例)

其特点为, 当日 08 时 500hPa 图上, 在 38~45°N、110~120°E 之间有低涡生成, 低涡中心有冷平流配置, 24 小时负变温为 3~8℃之间。低涡向东南偏东方向移动, 700hPa 图上有一完整低压与之相配合。

此类形势下, 雹云回波主要发源于山西的长治、河北的邢台、邯郸一带, 然后发展南压影响河南省安阳、新乡、濮阳等地区, 有时可达开封、商丘地区(关键区: 长治、邢台、邯

郸)。

1.2.2 槽后西北气流型(16例)

其特点为500hPa图上,东部沿海为一深厚的低涡槽,闭合低涡中心在38°N以北、115°E以东,低槽自低压中心伸向南海一带,槽后有强盛的西北气流。

在槽后西北气流控制下,雹云来源于山西的临汾、阳城、晋城及河南省的栾川、三门峡一带,逐渐加强东南移,影响河南省西北部、西部和中部地区(关键区:临汾、阳城、晋城、三门峡、栾川)。

1.2.3 槽前西南气流型(11例)

其特点为500hPa图上,槽线位于42°N以南、107°E以西,直伸到我国西南部,槽前有较强的西南气流。

此形势下的冰雹天气,主要始于伏牛山南侧的南阳盆地内,沿高空西南气流向东北方向移动,影响许昌以南地区及商丘地区的南部(关键区:南阳盆地)。

1.2.4 气团内部型(3例)

此类降雹天气在大形势场上分不出属于哪一种类型。但究其降雹的原因主要是局地大气层结不稳定,热力对流所致,主要发生在气团内部。这类降雹系统往往没有明显的有组织的排列结构,回波一般是此起彼伏的消长状态,表现为散块状,回波易在午后或傍晚热力条件有利的情况下产生,而且多半出现在山区。

1.3 中尺度特征

40次降雹天气过程,研究其地面形势场及省区域小图流场特征,主要有中尺度辐合线、中尺度风速辐合区、风场上明显的气旋性弯曲处、冷锋等。这些系统是产生冰雹天气的主要触发机制。

1.3.1 中尺度辐合线

中尺度辐合线在冰雹天气发生前2~3小时生成。气流在辐合中心和气旋性弯曲处汇聚上升,产生冰雹天气。例如1994年6月12日13时,中尺度辐合线在豫北生成后缓慢南压,到15时,其上出现辐合中心,与之对应内黄县出现了冰雹。后辐合线继续南压,到

17时移至黄河北岸,中段出现气旋性弯曲,形成“人”字形辐合线(见图2)。雷达回波上,有55dBz,16km高的“人”字形回波带与之相对应。17~18时,郑州、新郑、中牟、荥阳、巩县、温县、封丘等地出现了冰雹、大风天气。可见,中尺度辐合线上的辐合中心和气旋性弯曲处,是强对流发展加强处,最易产生冰雹等强天气。

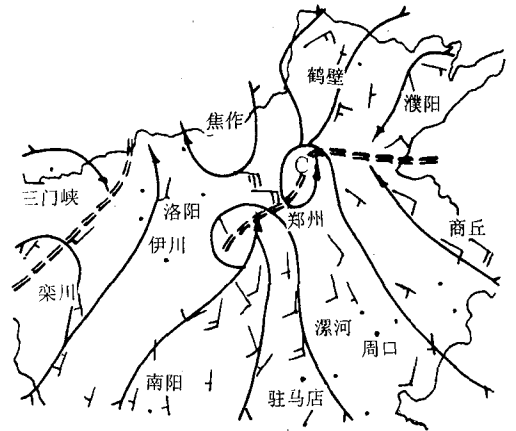


图2 1994年6月12日17时省区域流场

1.3.2 中尺度风速辐合区

中尺度辐合线后侧的偏北或东北风风速辐合处也常常产生冰雹天气。如1995年6月7日15时中尺度辐合线在博爱、偃师、宜阳生成后,东南移并加强。18时移到新安、嵩山、中牟到兰考一线,其后侧的沁阳、温县、荥阳、原阳与孟县、巩县、郑州之间存在 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 与 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速辐合区(图略)。另荥阳、郑州、新郑之间也同时存在风向风速辐合。18~19时沁阳、博爱、孟县、荥阳、郑州、登封、新郑等地出现了冰雹及大风天气。

由此可见,地面流场上的中尺度辐合线、辐合中心、气旋性弯曲处等是强天气产生处,是应该严加关注的。

2 各种参数指标

2.1 物理参数

利用郑州单站当日08时探空资料,计算了 SI 、 K 、 $\theta_{se(500-850)}$ 、 H_0 (0°C层高度)、 H_{-20} (-20°C层高度)、 q_{850} 、垂直风切变、 M_- (负温区厚度)/km、 M_+ / M_- (正负温区比)等稳

定度参数,其结果表明:

冰雹天气过程发生前6~8小时以上各参数均达到峰值,这对预报冰雹的发生时间具有很好的指示性。

沙氏指数 $SI \leq -1.0^{\circ}\text{C}$, 最小值达 -7.0°C , 表明大气处于不稳定。 $K \geq 25^{\circ}\text{C}$, 最大值达 38°C , $\theta_{se_{500-850}}$ 在 $-5.5 \sim -21.3^{\circ}\text{C}$ 之间,反映了大气处于对流性不稳定中。

SI 、 K 、 $\Delta\theta_{se_{500-850}}$ 三参数的最大值多出现在冰雹发生前4~8小时,所以利用三参数可判断冰雹天气发生的时间。

冰雹天气发生前6~8小时, H_0 在3.1~4.8km之间, H_{-20} 在6.3~8.4km之间。利用这三个参数可判断发生冰雹天气的时间和强度。

冰雹天气的 q_{850} 值在 $6.0 \sim 9.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,说明大气中水汽较少,空气较干燥。 q_{850} 的值不能太大,太大易形成暴雨。

垂直风切变值:发生冰雹时环境风速的垂直切变一般在 $(1.5 \sim 6.3) \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 风速的垂直切变越大,对流天气越激烈。但切变不能太大,太大也不易产生冰雹天气。

负温区厚度 M_- : 在7.5~17.0km之间,表明要发展成强对流云,必须具有厚度 $> 7.5 \text{ km}$ 的负温区,负温区越厚,越有利于冰雹的生成。

正负温区厚度比 M_+ / M_- : 它的值在0.3~0.8之间即 $> 1:3$, 这个比值与美国的差不多,但比原苏联北高加索地区 $1:2.8$ 要大^[3](M 与 M_+ / M_- 两个值均比雷雨大风的大。雷雨大风时 M_- 在5.0~13km, M_+ / M_- 在0.2~0.5之间,即 $> 1:2.5$)。

由此可见,冰雹的生成有它特殊的物理原因,上述物理参数是判定河南省上空大气是否处于对流性不稳定及冰雹能否生成的重要因子,利用这些因子可提前6~8小时预报出冰雹天气发生的时间、强度,为人工消雹作

业提供可靠依据。

2.2 冰雹回波参数

2.2.1 冰雹云强度场回波参数

① 冰雹云回波形态结构。雹云回波形态结构主要有块状、带状、指状、钩状、V型缺口、人字形、弓状等。影响河南省最多的冰雹云回波在 $PPI(z)$ 上表现为边沿光滑、结构密实的块状和由块状组成的带状; $RHI(z)$ 上为粗大密实的柱状和纺锤状回波。其余5种特殊结构回波在 $RHI(z)$ 上表现为回波穹窿、砧状回波、悬挂回波、强回波墙以及与强回波墙对应顶端的“假回波”等,且强度梯度极大,最强中心位于回波的中高层即8km左右,甚至有时远超过8km^[1]。

冰雹云回波在形成前,表现为孤立小单体,然后逐渐发展加强,成为结构密实的大块状回波,有时回波出现指状或钩状。有的是由两块或多个小单体快速发展壮大、汇合并加强,形成了人字形、带状或弓状回波。对于这些迅猛发展、未来合并加强的单体回波,最易产生冰雹等强天气,所以我们要进行加密跟踪监测。

② 冰雹云的回波强度。回波强度是冰雹云发展强弱的重要标志之一,它反映了云中质粒的大小、相态和云中含水量的多少,分析这40次冰雹云回波强度,降雹时回波强度均 $\geq 40 \text{ dBz}$, 最大的可达 60 dBz , 所以 40 dBz 可以作为有无冰雹天气的判据之一。

冰雹云回波在发展阶段,连续跟踪观测,其强度在 35 dBz 以上。把回波强度 $\geq 35 \text{ dBz}$ 作为追踪冰雹云发展的必要条件之一。

③ 冰雹云的回波顶高度。回波顶高度反映了冰雹云的垂直发展程度,它表征了大气中水汽和上升气流的综合情况,大气中只有较充分的水汽和强大的上升气流才能使云顶发展较高。利用回波顶高与回波强度结合分析,大多数情况下可以准确判定冰雹天气的强弱。

表1 4~8月份冰雹云回波顶高(H/km)统计

月份	H_{\max}	H_{\min}	$H_{\text{平均}}$
4	16.0	11.0	12.5
5	17.0	12.0	14.5
6	16.0	13.5	15.0
7	18.0	12.5	15.4
8	22.0	13.0	17.5

由表1可知,冰雹云回波的平均高度在15.4km,但不同的月份,有一定的差异。4月份回波顶高最低,8月份回波顶高最高,反映出4月份对流比5~8月份对流较弱的点。

雹云回波的初始高度一般在9~12km,降雹时 $\geq 30\text{dBz}$ 的回波高度在12km以上,最强中心顶高 $\geq 8\text{km}$ 。所以我们把最强回波中心顶高 $\geq 8\text{km}$ 作为冰雹云判断的又一必要条件。

④ 冰雹云回波的云顶温度。云顶温度的高低也是形成冰雹胚胎和冰雹增长的必要条件之一。有利于冰雹的生成,云顶温度应该达到或超过自然冻结温度。统计得出,10km以下的回波高度,云顶温度 $\geq -27^{\circ}\text{C}$,降雹时回波云顶温度均 $\leq -45^{\circ}\text{C}$,表明云顶温度越低,越有利于冰雹的生成。所以,云顶温度 $\leq -27^{\circ}\text{C}$ 作为预报冰雹产生的参考条件, $\leq -45^{\circ}\text{C}$ 时作为预报冰雹产生的必然条件。

⑤ 冰雹回波的移动规律。冰雹云回波移动方向往往与高空气流的引导作用有关,统计结果表明冰雹云回波在发展初期和消散阶段,其移动方向与500hPa风向或700~500hPa平均风向较一致,而在发展旺盛阶段,其移动方向与500hPa风向或700~500hPa平均风向出现右偏现象。在槽后型下,平均右偏12~22°之间;槽前型下,平均右偏27~32°之间。80%的整体回波朝着东偏南(60~180°)方向移动。就移速而言,冰雹云的最大移速为 $45\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,最小移速 $10\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,大部分移速为 $25\sim 40\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。这就为冰雹的落区预报提供了较好的判据。

2.2.2 冰雹云的多普勒速度场图像特征

多普勒速度即降水质点相对于雷达径向上的分量。从1993~1998年13次冰雹过程

多普勒速度场分析发现,冰雹天气的多普勒速度场上对流扰动比较明显,常常可以分析出中尺度气旋、大风区、辐合系统和弧形密集速度线(既强辐合带)等中尺度系统。冰雹常发生在中尺度气旋上,大风区一侧的风速辐合区内以及辐合系统上和强辐合带上。而且,在一次过程中的同一时刻多普勒速度场上可分析出两种或两种以上的中尺度系统活动。如1998年9月4日修武、武陟两地的冰雹大风天气,在多普勒速度场上可分析出一个典型的中尺度气旋和一个辐合系统。1994年6月12日和1998年7月21日的大范围冰雹大风天气过程中,多普勒速度场上可多次分析出若干个大风区存在。这些中尺度系统一旦出现就表明着冰雹天气将要发生或正在发生。因此这些中尺度系统是冰雹天气识别和预报的极好指标,它为冰雹的落区预报提供了可靠的信息和判据,为人工消雹提供了较好的作业判据。

因此,在雷达监测中,利用上述各种参数指标与冰雹的对应关系,充分分析714CD强度场和多普勒速度场上的图像特征及中尺度系统,就能准确地做出冰雹发生的时间、强度及落区预报,并为人工消雹作业提供最可靠的依据和最佳作业范围及作业时机。

3 实例分析

1994年6月12日下午,突如其来的冰雹大风天气,瞬间造成了郑州大半个城市通讯线路中断,部分路基塌陷,马路积水,树枝刮断,交通阻塞,造成了较严重的损失。此次冰雹过程属于华北冷涡型,当日08时 $K=41.8^{\circ}\text{C}$ 、 $SI=-3.0^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta\theta_{500-850}=-6.8^{\circ}\text{C}$,已达到上述降雹指标。雷达观测强对流回波首先在林县、辉县生成,然后南压发展影响河南省许昌以北地区。回波在PPI(z)上表现为边沿光滑、结构密实的块状回波,强度达48dBz。RHI(z)上柱状回波高达14~16km,且顶端有“假回波”特征。17时速度场上在测站SW部可分析出逆风区,18时、19时在测站NE部可分析出 $-22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风区(如图3)。17~18时郑州降水17.9mm并伴有短

时大风和冰雹。由于大风区附近风速梯度较大,其一侧为风速辐合区,所以它的存在使得中尺度辐合线后侧的对流回波重新得到发展加强,并迅速南压东移,影响河南省许昌、开封、商丘等地区,产生了冰雹和大风天气,造成了三地区不同程度损失。

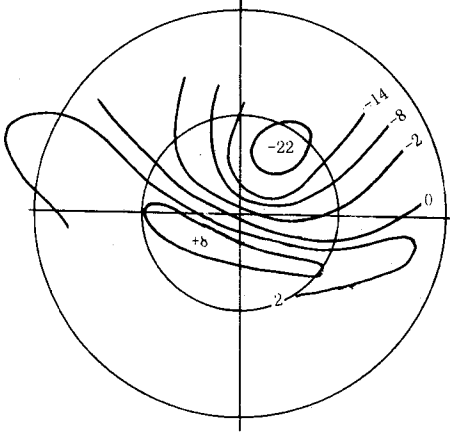


图3 1994年6月12日18:18 PPI(V)

4 结语

通过对河南省冰雹天气的综合分析,充分说明要做好冰雹天气的预测和监测,找准冰雹天气发生时间及落区,为人工消雹提供最佳作业区和最佳作业时机,除考虑大尺度背景、中尺度特征外,更要考虑各种物理因子的影响、雷达回波参数特征等判据指标,结合多普勒天气雷达强度场和速度场上的图像特征与中尺度系统,才能有的放矢地进行人工高炮作业,达到化雹为雨,才能最大限度的减少冰雹这种强对流天气对人民生命财产和工农业、交通、电力等各行各业造成的损失,达到防灾减灾之目的。

参考文献

- 1 张素芬等. 强对流的分布特征及雷达回波分析. 河南气象, 1996(1): 21~23.
- 2 牛淑贞, 张素芬等. 河南省强对流天气的特征与预报. 河南气象, 1998(2): 8~10.
- 3 戴铁丕, 张培昌等编著. 雷达气候学, 北京: 气象出版社, 1995, 10.

Research of Hail Suppression Operation Criterion in Henan Province

Zhang Sufen Bao Xiangdong Niu Shuzhen

(Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003)

Abstract

Based on April~August surface weather observation data from 1982 to 1997 in Henan province and corresponding radar echo data, the characters of weather and rader echo parameters in 40 times regional hail process (neighboring stations ≥ 3) were researched statistically. Some forecast criterions and image features of Doppler radar intensity field and velocity field with better correlation were obtained. These achievements provide scientific basis for making short-term forecast, radar monitoring and hail suppression operation.

Key Words: hail large-scale pattern mesoscale feature physical criterion radar echo parameter artificial hail suppression