

一次降雹过程的数字化 雷达回波分析¹⁾

程相坤 黄长扬

张少林

(山东省东营市气象局, 257091) (山东省气象局, 济南 250031)

金伟福 刘敦训

(山东省东营市气象局)

提 要

利用东营市 713 数字化雷达和卫星云图资料, 分析了 1995 年 6 月 24 日发生在黄河三角洲地区的暴雹天气过程, 对冰雹云的雷达回波特征及卫星云图特征进行了分析。

关键词: 冰雹 卫星云图 中尺度

引 言

天气雷达是监视、探测暴雹天气的一种有力工具。地处黄河三角洲地区的东营市气象局, 1994 年引进 713 数字化天气雷达, 增强了该地区人工防雹及冰雹的短时预防能力。

1995 年 6 月 24 日, 黄河三角洲地区发生了一次由东北冷涡产生的暴雹天气过程, 滨州地区、东营市均出现了冰雹, 风力达 9 级。本文利用 713 雷达观测资料, 对冰雹云回波特征、云图特征进行分析。

1 天气背景及环流形势

1.1 天气背景

6 月 21—23 日, 500hPa 上, 华北北部、蒙古东部一直维持一低涡, 黄河三角洲地区 23 日普降大—暴雨, 东营本站降水 54.2mm, 地面潮湿, 为此次过程提供了较好的水汽条件(有人称之为先兆性降水^[1])。24

日上午(13 时前), 天气晴朗, 温度迅速上升, 12 时黄河口已有 28℃ 高温带, 东营市最高气温达 33.3℃, 为此次过程提供了良好的热力条件。

1.2 环流形势

造成此次暴雹天气的影响系统为东北冷涡, 它是山东地区产生冰雹天气的主要影响系统^[2]。24 日 08 时 500hPa 天气图上, 冷涡中心位于大兴安岭南端(图略), 槽线位于 119°E 附近, 赤峰—唐山—沂源—一线, 而 700hPa, 850hPa 槽线依次偏后, 850hPa 槽线位于北京—兰州—一线, 属前倾槽, 济南 500hPa 为西北风, 底层 850hPa 为西南风。至下午 14 时, 槽线东移, 黄河下游高层 500hPa 位于槽后, 为干冷的西北气流, 低层 850hPa 为槽前, 为暖湿的西南气流, 700hPa 太行山南部至黄河口为一暖脊, 850hPa 黄河下游则为一暖中心, 济南与呼和浩特温差 10℃, 这

1) 山东青年基金资助。

种温湿场及平流配置利于不稳定能量的加强。

2 雷达回波分析

2.1 回波发展阶段

24日14时30分,东营市雷达定时开机发现沧州东部距测站160km处有一中尺度对流回波(图1a中M),宽度40km,回波右侧有一宽度20km,强度为35dBz的强中心,经

过短时连续观测,回波东南移,移速 $60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在M回波的右前方,有几块小回波,尺度约10km,强度仅5dBz,其东北方向渤海海面有一近乎东西向回波带,由5块回波连绵组成,构成一条长达300km的回波带。3小时后,M回波影响本站。对此回波做RHI扫描,测得回波顶高13km,中心强度35dBz,高达10km。

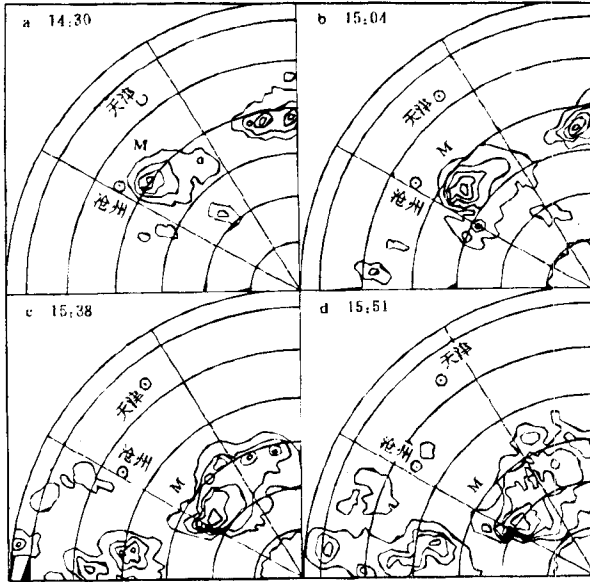


图1 24日暴雨回波发展演变素描图(PPI,仰角 2.1°)

回波强度等值线由外向内分别为5、15、25、35、45、55dBz,每圈距离40km(下同)

15时04分PPI显示回波区进一步发展(图1b),回波宽度50km,35dBz区域已达30km,中心右侧出现45dBz回波,在回波移动方向右侧,出现不太明显的人流缺口,说明雹云正在发展阶段。其右前方弱回波区发展至35dBz,与主体M回波靠近。

RHI图上(图2a),回波呈纺锤形,中心出现宽度10km、强度45dBz的回波,回波顶高17km,35dBz回波顶高14km,45dBz回波高11km,回波梯度很大,后部边缘清晰,在强回波中心前部30km处,出现积云砧,回波向前伸展并悬垂接地,但悬挂回波强度较弱,仅5dBz。15dBz回波略向前凸出,25dBz以上回波为垂直结构。

2.2 降雹阶段

15时38分,回波继续东南下,移至滨州地区北部,M回波与右前方发展的小块回波合并,促使回波进一步加强。PPI图上右侧人流缺口更加明显,人流缺口后部出现小的指状突起(图1c)。由图2b可见悬垂体向前伸展约60km,而且高空12km处向前伸展最远,15dBz回波也向前伸展至40km,25dBz回波略有伸展。在云内45dBz回波区的正上方,出现暴雨假回波尖顶,使回波顶高达23km。

15时51分PPI回波显示,35dBz回波宽度达40km,45dBz回波发展到20km,人流缺口仍十分明显,指状回波做气旋式弯曲类似

于钩状(图1d)。

16时24分RHI显示45dBz回波高达12km,中心出现强度55dBz回波区,回波上宽下窄,35dBz回波进入悬挂体部分。16时28分RHI图(图2c)前部悬挂回波进一步发展,回波在近地面变窄,约20km,45dBz回波区移至中空,这是雹云区别于暴雨云回波的显著特征^[3]。在距测站30—38km,高1.5—3.1km处出现弱回波穹窿区,说明此处为上升气流的核心部分,由于上升速度大,因此在其中及其下方都缺乏大的降水粒子。在穹窿上部(即最大上升气流高度以上的地方)的下风方,由于降水粒子或雹块不能落到较低的高度而在云内形成水分累积区,又叫冰雹生

长区或雹源,雷达回波上对应于穹窿区上部悬挂回波35—45dBz部分。而在弱回波穹窿区上风方一侧,是陡直的回波强度和梯度都很大的回波墙,对应于强烈的降水和冰雹落区。

16时49分,PPI显示35dBz回波已近测站,45dBz前沿距测站15km,回波中心有宽约20km 55dBz回波,入流缺口消失。16时47分RHI(图2d)显示45dBz回波中心正位于垦利县胜坨乡南部(此时该乡正在降雹)。16时57分PPI显示45dBz回波到达本站,本站17时10—16分出现软雹¹⁾,极大风速达 $29.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11级),最大风速 $21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (9级)。

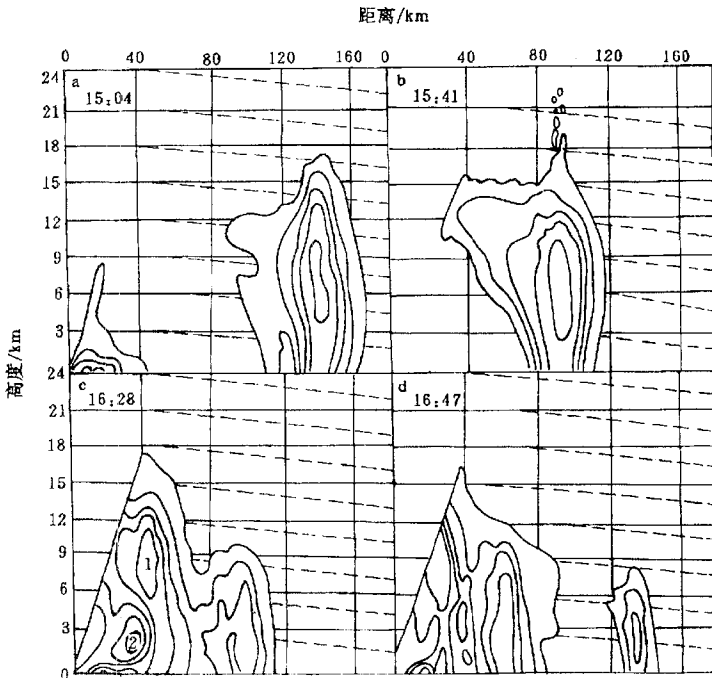


图2 24日暴雨回波发展演变素描图(RHI,等值线说明同图1)

方位角:a.308.1°,b.306.1°,c.286.1°(1为45dBz区;2为弱回波穹窿区),d.284.1°

经过连续观测,从15时30分到16时57分,回波出现入流缺口,缺口后部出现指状回波,以后又演变为钩状,假回波尖顶,弱回波穹窿区及回波墙,悬挂回波逐渐向远处

伸展,强度由5dBz到35dBz,这一系列暴雨回波特征十分明显。实况,16时10分滨州地区无棣、沾化出现冰雹,16时40分利津县王庄乡、垦利县胜坨乡出现冰雹,大如核桃,小

1) 东营区进行人工防雹作业

如玉米粒。17时10分东营本站出现软雹。

2.3 入海减弱阶段

17时32分,PPI显示,45dBz回波控制测站附近方圆40km区域,本站雷阵雨。18时30分,影响黄河三角洲地区的M回波主体入海减弱,仅为35dBz,面积扩散。

3 红外卫星云图分析

由加密红外卫星云图分析,可以清楚地了解此次暴雨天气,是由涡旋云系中的冷锋云带尾部新生发展的一中尺度对流云团造成的(图略)。

6月24日08时30分GMS-4卫星云图上,与低涡对应的涡旋云系中心在45°N、123°E,四周呈齿轮状向外辐射,冷锋云带位于长春—承德—呼和浩特一线,云带较窄,云层较薄,以低云为主,而冷锋云系中部,承德—北京有一低云带。华北南部至黄河口为晴空区。在以后几个小时,涡旋中心沿45°N略东移,冷锋云系逆时针向东南旋转。

3.1 云团生成阶段

12时30分,GMS云图上原来在承德至呼和浩特冷锋云系减弱,承德—北京段略有发展随冷锋云系东移,整个冷锋云系位于长春—锦州,尾部位于北京—天津之间。在天津西南部保定南侧有一中尺度云团生成,云层较薄,水平尺度不足百公里,主体云顶温度-22℃,其西端有温度为-30℃的一个亮点,根据文献[4]判断该亮点约20km。

3.2 云团发展阶段

13时30分云团尾随冷锋云系东南下,移至天津南部,水平尺度发展到近200km,云体西端-30℃中心发展到35km。

14时30分,中尺度云团略南移,范围扩大并顺海岸线南伸,-30℃中心已发展成云体的一半,而在其西端又出现一白色亮点,云顶温度-39℃,这时云内对流发展已十分旺盛,由单一低云团发展为强对流云团。

3.3 降雹阶段

15时30分中尺度强对流云团前沿已达黄河入海口北部,中心在滨州地区北侧,形如椭圆形胞状,TBB等值线光滑,水平尺度250km,低于-39℃的冷云区面积显著扩大,接近整个云区。云体西端又出现一几十公里范围的一48℃亮区,说明云团仍在发展。

16时30分(图略),对流云团覆盖整个黄河三角洲地区,云体白亮,充实,边界光滑,说明已发展到顶盛阶段,实况是16—17时黄河三角洲地区自西北向东南先后降雹,并伴有九级西北大风。

4 中尺度分析

对每小时一次加密测站的测风分析,发现15—17时,黄河三角洲地区有一中尺度涡旋经过,此次冰雹天气就是由这一中尺度系统触发引起的。

24日15时地面流场分析发现,山东中南部为一致的西南气流,鲁北、黄河三角洲地区北部有一不足百公里的中尺度涡旋,中心位于滨州地区无棣—湾湾沟之间的北部,对应雷达回波图上强回波区在此涡旋北侧。16时(图3)中尺度涡旋移至阳信—沾化,17时涡旋移至东营—羊角沟之间。地面观测16—17时正是滨州地区的无棣、沾化,东营市垦利县、利津县及本测站降雹时间,可见此中尺度系统对这次降雹的直接触发作用。

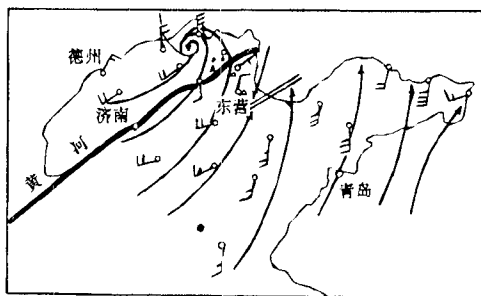


图3 24日16时地面流场图

矢线为流线,三角为降雹点,双线为辐合线

5 暴雨模型

根据6月24日暴雨雷达回波、卫星云图,济南08时探空及实际观测资料,分析绘制成暴雨模型^[5](图4),图中主体为回波强度,左侧数值为高度值,风向风速为济南08时实测风,低层700hPa以下为西南风,低层达18m·s⁻¹,中层600hPa、500hPa为西北风,风速由20m·s⁻¹急增至68m·s⁻¹,高低空不仅存在风向切变,风速切变也较大。图右侧为实测各高度温度值。云顶高度近两万米,超过对流层顶(济南08时测得对流层顶

14km), 云顶温度低于 -48°C , 回波顶高17km, 45dBz 回波顶高12km, 最大回波强度55dBz 位于8--9km 的中空。零度层高度600hPa 左右, 云体前部下方有弱回波穹窿区, 为上升气流的核心部分, 云体悬挂体由高空向前伸展, 说明自回波前部经弱回波穹窿区至悬挂回波前沿为上升气流区。在主体回波的后部60--80km 处, 自中空到低空都为弱回波区, 考虑500hPa 以上为干冷的西北气流, 在云后下沉, 加之回波墙附近降水物的拖曳作用^[6], 可以判定云体后部中高空到回波墙为下沉运动。

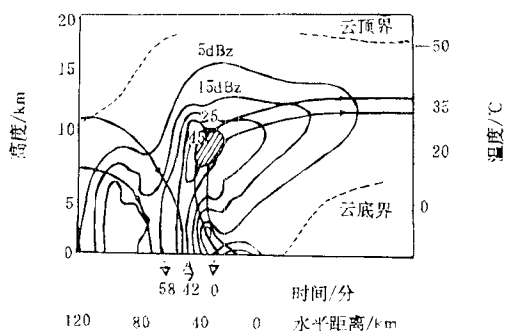


图4 暴雹模型
阴影区为雹源

在弱回波穹窿区上方, 悬挂回波中35--45dBz 部分, 为冰雹增长区, 亦即雹源, 这是人工防雹作业的最佳部位。根据雷达回波中该区所在高度 H 及距防雹作业点水平距离 S , 即可算出高炮仰角 α , $\alpha = \arctan \frac{H}{S}$, 选取最佳作业时机, 将人造冰核集中撒入雹源中, 以期产生大量的小冰雹来竞争其中的水份, 使

其不能形成大冰雹, 从而达到人工消雹的目的。

从16时10分无棣、沾化开始降雹到17时16分东营降雹结束, 历时1小时, 降雹带长约100km, 宽约15km。

6 结语

造成此次暴雹天气的大尺度环流系统是东北冷涡, 高低空槽线配置属前倾槽, 地面中尺度涡旋对其有触发作用。雷达回波分析发现, 降雹回波与冷锋移向一致。移速约 $60\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, 回波高达17km, 强回波55dBz, 高度12km, 宽约40km, 降雹阶段, 回波右侧出现人流缺口, 人流缺口后部出现指状回波, 以后指状回波又演变为钩状, 假回波尖顶, 45dBz 回波位于中空, 悬挂回波从无到有, 由弱变强, 弱回波穹窿区, 回波墙等一系列暴雹回波特征, 均十分明显。每小时一张GMS云图, 观测到了该云团发生、发展的全过程, 发现此次暴雹天气为冷锋云带尾部诱发的一中尺度云团。由加密的数字化雷达资料, 卫星云图及实际观测资料, 综合绘制成暴雹模型, 为人工防雹作业研究得到一个很理想的个例。

参考文献

- 1 李性真. 1988年6月1日山东冷涡降雹过程分析. 山东气象, 1990年第3期.
- 2 曹钢锋等. 山东天气分析与预报. 北京: 气象出版社, 1988: 128.
- 3 陈良栋. 天气雷达资料的分析与应用. 北京: 气象出版社, 1991: 170.
- 4 P. K. Rao 等, 许建民等译. 气象卫星. 北京: 气象出版社, 1994: 221.
- 5 郭恩铭等. 一次降雹过程的分析. 气象, 1990, 16(11).
- 6 朱乾根等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1981: 284.

Analysis on Digitized Radar Echoes of a Hail Process

Cheng Xiangkun Huang Changyang

(Dongying Meteorological Station, Shandong Province 257091)

Zhang Shaolin

(Shandong Meteorological Service, Jinan 250031)

Jin Weifu Liu Dunxun

(Dongying Meteorological Station, Shandong Province 257091)

Abstract

A hail process occurred over the Yellow River delta on 24, June, 1995 was analysed using echoes of 713 digital radar data in Dongying city and satellite cloud pictures. Their features are described and the reason is discussed.

Key Words: hail meso-scale satellite cloud picture