

一次强对流天气综合分析

吉惠敏, 冀兰芝, 王锡稳, 李文莉

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要 2004年7月4日下午, 甘肃河东出现强雷阵雨天气并伴有冰雹。从大尺度环境场、物理量场特征、多普勒雷达回波特征3方面综合分析本次强对流天气的成因。本次过程在500 hPa高空环流形势场上呈典型的西北气流型, 冷平流随高度增加使不稳定层结得以建立和维持。干冷空气冲击高原东侧到甘肃中部的能量锋, 触发了强烈的对流。根据雷达回波演变过程看出, 冰雹是由多单体风暴造成的, 在径向速度图上可分析出 γ 中尺度气旋性旋转流场。

关键词 冰雹, 能量锋, 多普勒雷达回波, 中尺度气旋
中图分类号 P458 **文献标识码** A

引言

对甘肃省强对流天气的发生、发展过程, 前人已经做了大量的分析和研究。新一代天气雷达投入业务使用, 提供了丰富的高时空分辨率的产品。多普勒雷达能探测到雷暴云团的内部结构, 可以使我们更好地了解强对流天气形成的机理, 并提高预报服务的准确性和及时性。

对2004年7月4日甘肃省1次区域性雷雨冰雹过程, 在天气分析的基础上, 结合物理量场特征和雷达回波特征, 进行综合分析, 为运用多普勒雷达产品预报冰雹天气积累经验。

1 天气实况

2004年7月4日下午至傍晚, 青海东部、陕西南部、甘肃省河东大部分地方出现了强雷阵雨天气, 并伴有短时阵性大风。从14时至20时的6 h雨量图上可以看出, 一般降雨量在1~6 mm之间, 但在甘肃中部、甘南部分地方雨量达10~20 mm, 其中漳县降雨量最大达35 mm。降雨主要集中在1~3 h内, 从雨强上分析, 广河、岷县、漳县、两当等地达到暴雨标准, 另外甘南、定西、临夏的部分地方还降了3~10 mm的冰雹, 康乐的冰雹最大直径达10 mm(图1)。这次强雷雨冰雹天气还造成岷县锁龙乡1 986人受灾, 成灾

433人, 105 hm²农作物受灾, 成灾95 hm², 绝收63 hm², 经济损失9.8万元。康乐县胭脂镇农作物受害面积308 hm², 成灾192 hm², 经济损失63.3万元。东乡县那勒寺镇农作物受灾107 hm², 绝收91 hm², 经济损失14.4万元。

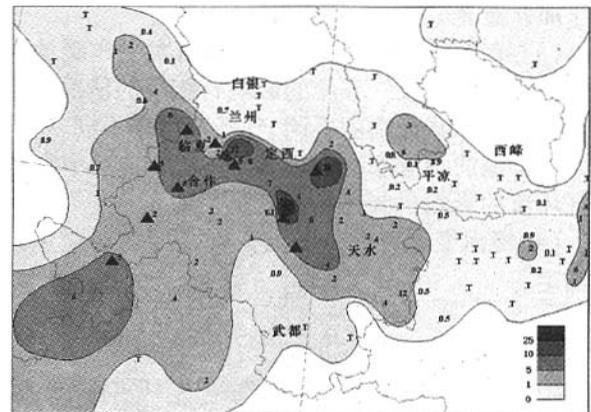


图1 2004年7月4日14~20时6 h降水及冰雹实况

Fig. 1 Hails and 6-hour rainfall from 14 00 to 20 00 on July 4th 2004

2 高空环流形势场分析

2.1 前期高空环流形势

收稿日期 2005-11-28 改回日期 2006-03-19

基金项目: 甘肃省科技厅项目“甘肃省山洪地质灾害气象预报与预警系统研究”(3ZS014-A25-012)资助

作者简介: 吉惠敏(1963-), 女, 江苏无锡人, 高级工程师, 从事中、短期天气预报工作。

6月25~30日,100 hPa 南亚高压为中部型,此后开始转变为西部型。

6月28日,500 hPa 等压面上,乌拉尔山西侧阻塞高压建立,此后一直到7月上旬,欧亚中高纬度环流形势比较稳定。在6月29日至7月3日500 hPa 5 d 平均高度场上(图略)50°N 以北,乌拉尔山附近为强大的阻塞高压,亚洲高纬度的广大地区为宽广的西伯利亚长波槽控制。40°~50°N 地区上空为纬向多波动气流,其上不断有短波快速东移。在此期间,有一个热带气旋沿菲律宾北上,经台湾在华东沿海登陆。

2.2 过程临近前的高空环流形势

对2004年7月4日08时的高空环流形势场分析可以看出,100 hPa 南亚高压的中心位于帕米尔高原以南,即印度半岛的北部,是典型的西部型,而南亚高压西部型环流主要多阵性降水^[1]。在300 hPa 等压面上,高空锋区及高空急流在35°~40°N 之间,位于甘肃省上空,风速一般在22 m/s,最大风速中心位于平凉上空,达36 m/s,强对流天气出现在急流中心的右后方。

在500 hPa 高空图上(图略),甘肃省处于新疆脊及青藏高原前部的西北气流之中,其上有明显温度槽,冷平流明显,其中榆中与老东庙温度相差5℃。值得注意的是,在甘肃省中部到南部有一小温度槽,与降雹区位置比较吻合。另外,蒙古东部有一低涡,其中心高度为564 gpm,温度为-16℃,由蒙古低涡伸出的低槽其尾部延伸到民勤,对强对流天气触发起

着重要作用。

700 hPa 的天气形势与500 hPa 基本一致,西西伯利亚至咸海为一低压,中心高度294 gpm,温度为-8℃,贝加尔湖高压脊,中国东北低压中心为299 gpm,温度为1℃,甘肃省主要受脊前西北气流控制,沿脊前有弱冷平流,其中榆中与老东庙相差2℃,四川盆地有一横向切变线,甘肃省处于切变线以北的西北气流中。

从以上分析可以看出,500 hPa 冷平流强,700 hPa 冷平流弱,同时500 hPa 河东地区湿度相对较好,温度露点差多数在5℃以下,有利于对流的发展。

由此可见,在这次雷雨冰雹过程发生之前,甘肃省高低空为一致的西北气流。中高层有明显冷平流和高空急流,是比较典型的冷平流型雹暴形势^[2]。

3 物理量场特点

3.1 温度平流分析

在冷平流型雹暴形势中,差动温度平流的存在及其强度,对不稳定层结的形成和加强起着至关重要的作用^[3]。

从2004年7月4日08~20时500 hPa 和700 hPa 温度平流图(图2)可以看出,08时500 hPa 张掖以东均为冷平流,强范围在武威、中部、甘南一带,中心值为 $-10 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 。而700 hPa 甘肃省为 $0 \sim -1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 的微弱冷平流,冷平流随着高度的增加而明显增强,十分有利于不稳定层结的发展。

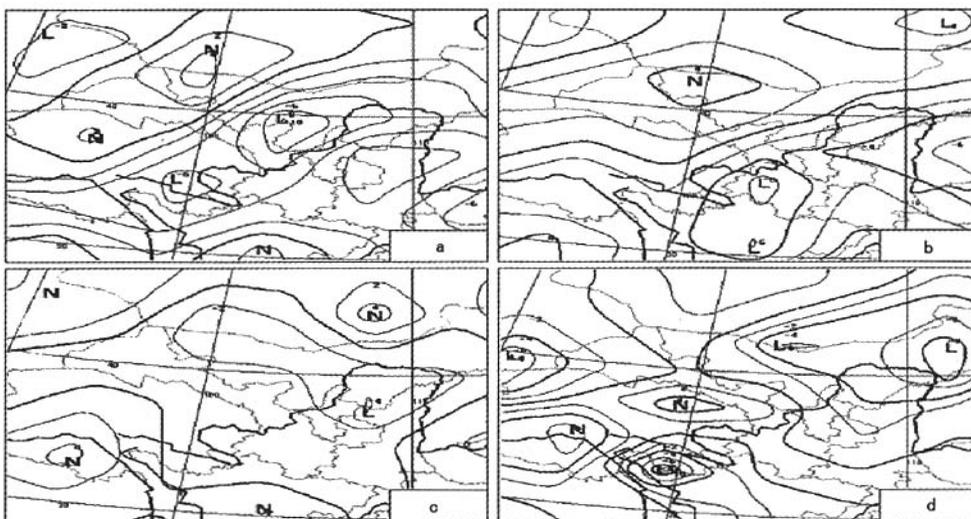


图2 2004年7月4日08~20时500和700 hPa 温度平流图
Fig.2 Temperature advection at 500 (up) and 700 hPa (down) at 08 00 (left) and 20 00 (right) on July 4th 2004

20时 500 hPa 冷平流的中心东移到甘肃的甘南、定西一带,中心值减弱为 $-6 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$,与出现冰雹的区域大致吻合。主要降雪时段出现在 14~16 时,而 20 时对流性天气已减弱,仅有 2 站出现冰雹。20 时 700 hPa 为 $0 \sim 2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ 的微弱暖平流。

3.2 水汽及能量条件分析

水汽是形成降水的必要条件,水汽一般集中在低层,700 hPa 的湿度与降水有直接的关系。2004 年 7 月 4 日 08 时 700 hPa 相对湿度,高原东侧有湿舌向甘肃中部伸展。在降雪区上空,相对湿度的量值并不是特别大,但梯度较大。由于低层水汽不是特别充沛,因此本次过程天气主要为冰雹和短时强降水。

高湿区一般对应着高能区,在 2004 年 7 月 4 日 08 时 700 hPa 总温度图上,可以看到降雪区一带有弱的能量锋(图 3)。

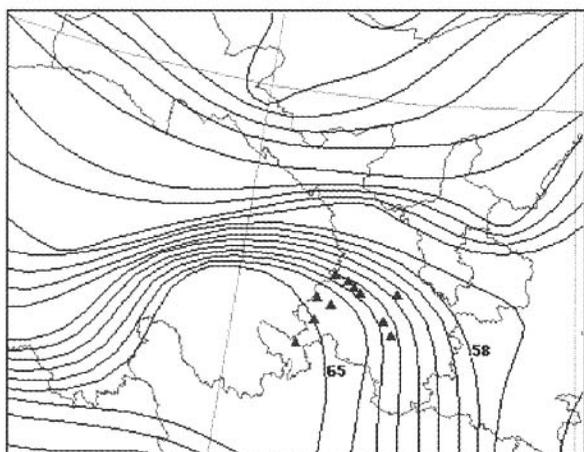


图 3 2004 年 7 月 4 日 08 时 700 hPa 总温度

Fig. 3 Total temperature at 700 hPa
at 08 00 on July 4th 2004

雷雨顺指出^[4],能量锋与降水强度具有客观的对应关系,强风暴常发生在能量锋北侧靠干舌的地区,一旦有干空气冲击,低层暖湿空气便沿等能面急速爬升,产生强大上升气流。

对比 4 日 08 时和 20 时 500 hPa 相对湿度的分布情况(图 4)可以看出,500 hPa 有一个由北方伸下来的干舌。

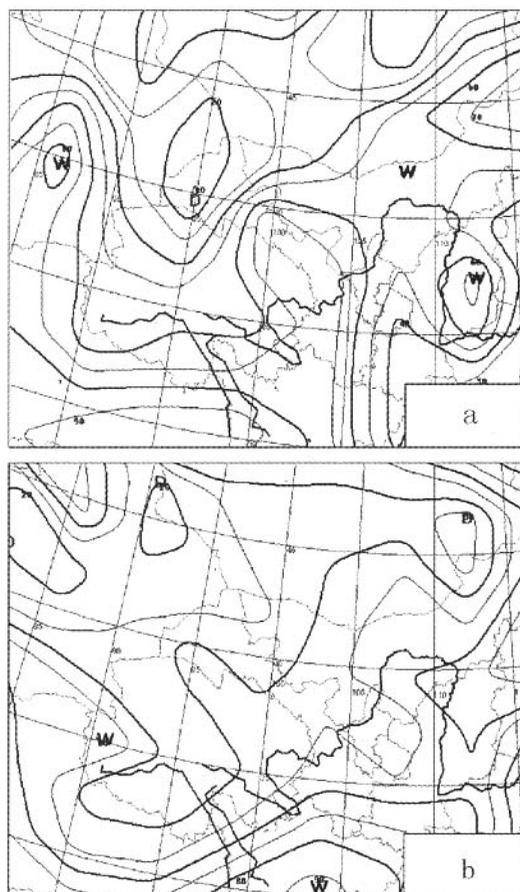


图 4 2004 年 7 月 4 日 500 hPa 相对湿度
(a) 08 时 (b) 20 时

Fig. 4 Relative humidity at 500 hPa at 08 00 (a)
and 20 00 (b) on July 4th 2004

3.3 不稳定能量及风切变条件分析

选取榆中、合作、武都 3 站 7 月 4 日 08 时、20 时的 $T - \ln P$ 进行分析得到,08 时甘南、武都在 600~400 hPa 有较小的正不稳定面积,榆中 600~500 hPa 正不稳定面积不明显,但到 20 时,榆中、武都在 600~300 hPa 有较大的正不稳定面积,甘南 600~400 hPa 正不稳定面积不明显。 $T - \ln P$ 图还可以看到风的垂直切变情况:从低空到高空有较明显的风速切变,除合作站 20 时最大风层在 400 hPa 以外,风速随高度增加,风向在各高度层比较一致,对流发生前没有出现底层逆温的情况。另外 $\rho \text{ } ^\circ\text{C}$ 层位于 600 hPa 附近,是比较有利于出现冰雹的条件。需要注意的是对流的发展强盛期一般在午后到傍晚,只有 20 时 $T - \ln P$ 图能清楚地反映不稳定能量情况。

4 雷达回波特征

根据组合反射率的时间演变分析,14 时 30 分以前,对流云系主要集中在兰州以北地区,由于水汽及热力条件还不十分成熟,只产生了一般的阵雨和雷阵雨天气,而 14 时 30 分以后,兰州以南地区的对流发展旺盛。在这一地区,强对流发生在 2 个主要时段,一个从 14 时 30 分至 16 时 30 分,另一个在 20 时附近。由于 18 时 40 分以后该区域雷达回波被屏蔽,所以本文只讨论 14 时 30 分至 16 时 30 分时段

内,兰州以南地区的雷达回波特征,其中重点讨论造成积石山、广河、康乐冰雹天气的对流风暴云系。

由于造成积石山冰雹和广河、康乐冰雹的不是同一个对流云体,因此分别进行讨论。

4.1 造成积石山冰雹的对流云系特征

根据垂直最大反射率的时间演变分析,造成积石山冰雹的对流云团发源于青海循化,13 时 56 分强度达到最大,进入甘肃省后迅速减弱,但与积石山原地发展起来的一个小对流云体接近后又迅速增强,于 14 时 41 分达到最强(图 5)。

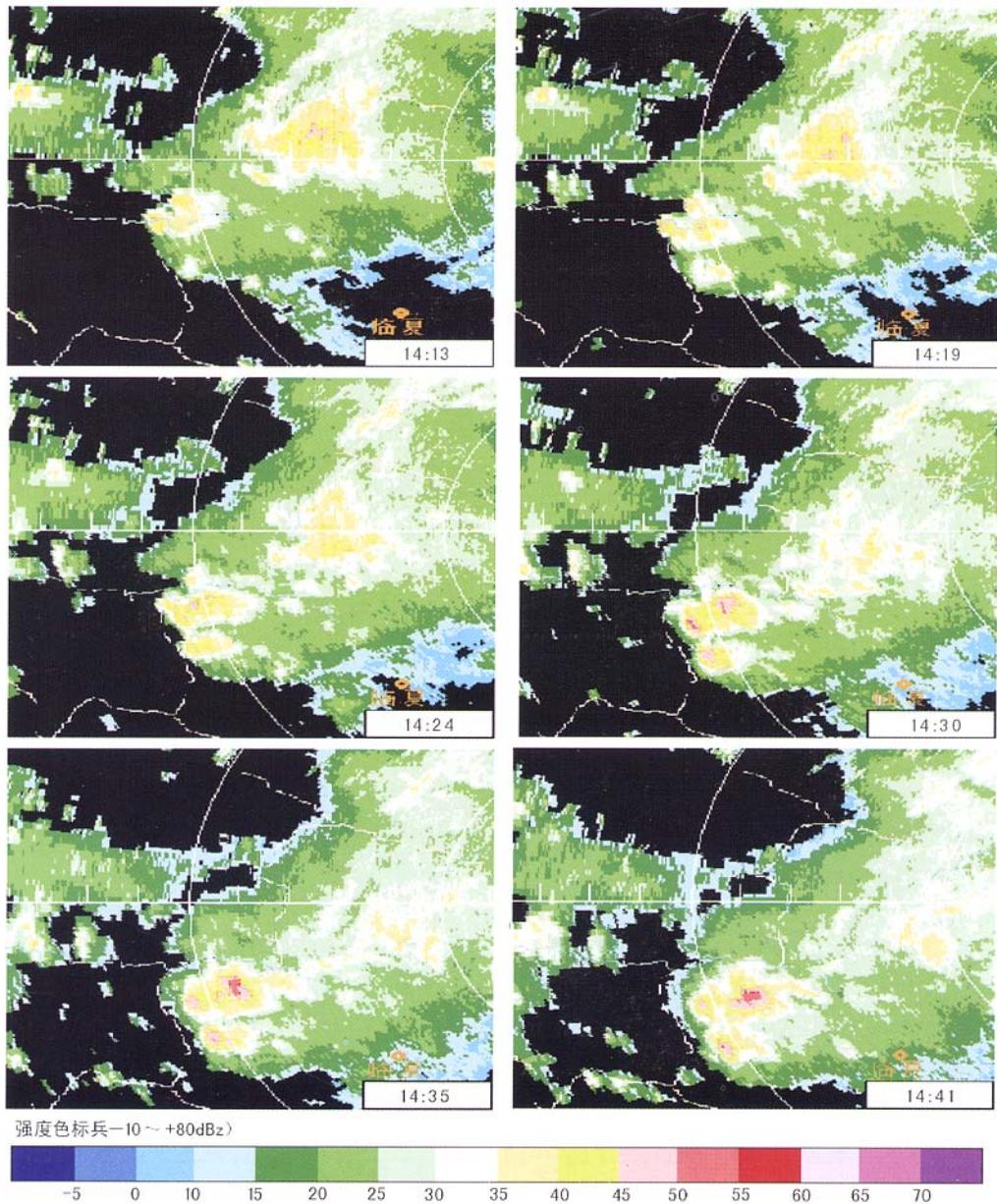


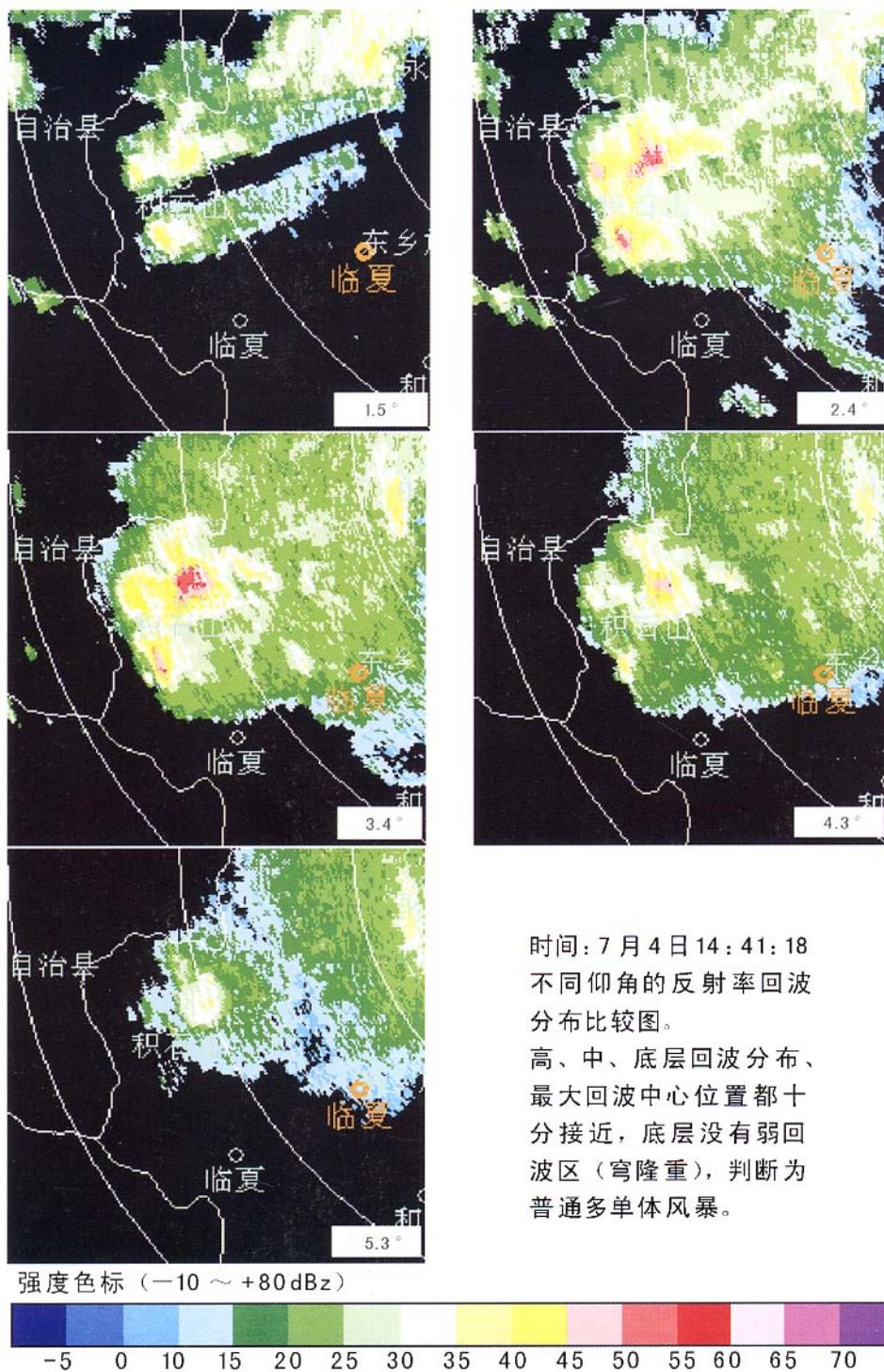
图 5 积石山附近对流云发展时间演变

Fig. 5 The temporal characteristics of cumulus developing near Jishishan

根据 14 时 41 分不同仰角的反射率因子回波图 (图 6) 可以看出, 积石山上空的回波最大强度 53 dBz, 出现在第 4 仰角 (3.4°) 7 500 m 高度附近, 回波顶高在 10 ~ 11 km, 高、低、中层最大回波中心重

叠, 底层没有弱回波区 (穹隆), 为普通多单体风暴。

在径向速度回波图上 (图 7), 14 时 13 ~ 41 分积石山附近 (2 个对流云团的交界处) 出现了 γ 中尺度气旋性旋转流场。这个中尺度流场到 14 时 30 分



时间: 7月4日 14:41:18
 不同仰角的反射率回波分布比较图。
 高、中、底层回波分布、最大回波中心位置都十分接近, 底层没有弱回波区 (穹隆重), 判断为普通多单体风暴。

图 6 14 时 41 分不同仰角的反射率因子回波图
 Fig. 6 Radar echoes of PPI with elevations : 1.5° 2.4° 3.4° 4.3° 5.3°

发展到最强 旋转核直径约为 10 km 从第 3 仰角到第 5 仰角都有表现 厚度达 3 000 m 根据径向速度计算 转动速度为 10 m/s 左右 没有严格达到中尺

度气旋的标准 根据中尺度气旋转动速度指标定义^[5]判断为弱切变系统。

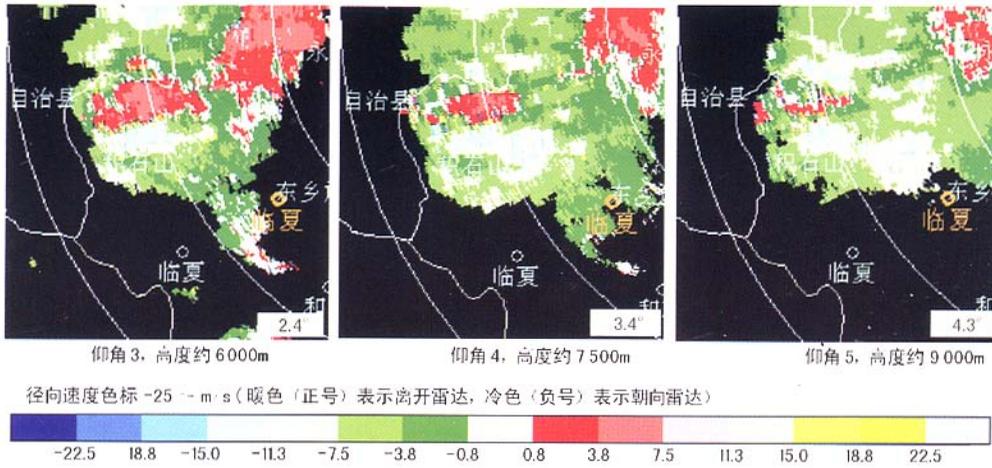


图 7 2004 年 7 月 4 日 14 30 时 3 个仰角的径向速度图

Fig. 7 The radial velocity of radar echoes with elevation : 2.4° , 3.4° , 4.3° at 14 30 on July 4th 2004

积石山冰雹的实况资料没有精确时间 徐阳春等^[6]对 5 次不同强度中尺度气旋降水过程的分析指出 中尺度气旋的强弱与冰雹直径正相关 降水时间与中尺度气旋流场成熟阶段基本吻合 因此可判断积石山冰雹的出现时间在 14 30 分左右。在本例中 流场的旋转速度达到最强的时间早于反射率达

到最强的时间。

4.2 造成广河、康乐冰雹的对流云系特征

首先将 7 月 4 日 14 时 13 分至 15 时 36 分组合反射率(图 8)上的 3 块强回波云系分别命名为 A、B、C 然后分析其演变情况来说明对流发展特征：

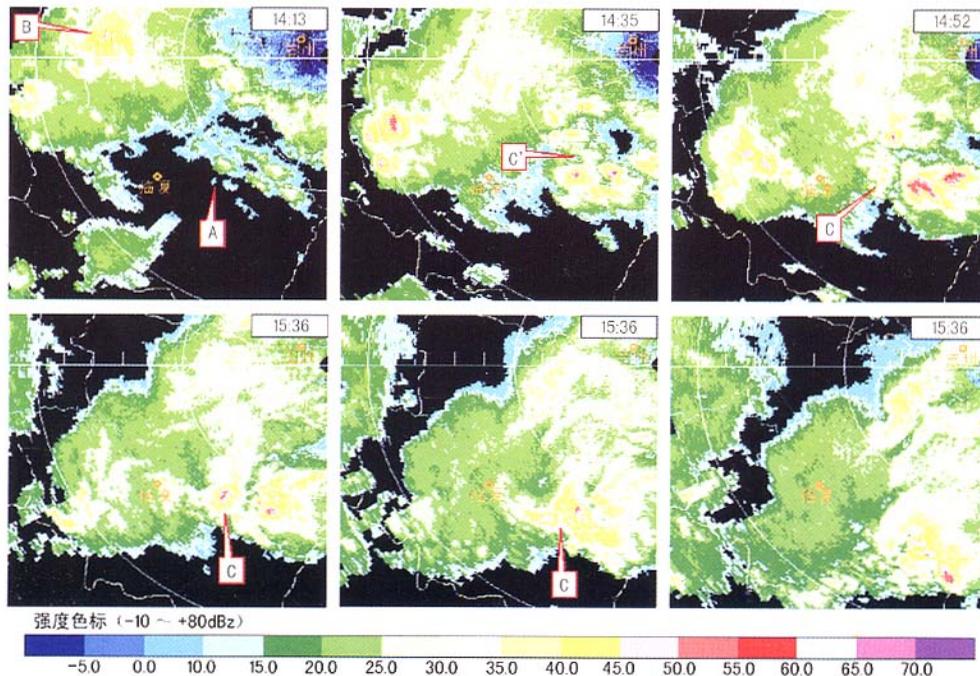


图 8 2004 年 7 月 4 日 14 时 13 分至 15 时 36 分广和附近组合反射率图

Fig. 8 The composite reflectivity near Guanghe from 14 13 to 15 36 on July 4th 2004

14 时 13 分,东乡至三甲集一带开始出现明显的对流云胞(A);在它西部,红古至段岭附近有一块已经减弱的对流云团(B);14 时 35 分,云系(A)的多单体风暴特征已经十分明显,最大反射率强度 > 50 dBz;云团(B)主体继续明显减弱,但其前缘的阵风锋开始与云团(A)后部的气流汇合,交汇处出现了新的对流单体(C')。

14 时 52 分,在临夏市附近,云团(B)的前缘与云团(A)的交界处又出现了小的对流体(C),正是这块对流单体继续强烈发展,出现降雪。15 时 09 分,云团(C)迅速发展,其前方顺风向出现一长条型回波带。

15 时 20 分,(C)发展成“弓型”回波,其前部条状回波带中有多个对流单体发展,形成“人字型”回波,在“人字”的交汇处广河,15 时 17 分出现冰雹。

15 时 36 分,云团(C)减弱,其前部新发展的对流单体最大强度达到 52.5 dBz,最大强度中心位于康乐上空。这段时间前后,康乐出现直径达 10 mm 的冰雹。

从 7 月 4 日 15 时 20 分至 15 时 36 分径向速度图上可以看到,在康乐至临夏一带为出流和入流的辐合线,大的强度回波带一般都出现在这条辐合线上,广河和康乐的冰雹都出现在辐合线过境的时间。这种现象说明,这一辐合线正对应着我们前面提到的能量锋区与北方干冷空气的交汇线。北方干冷空气入侵后,引起了暖湿空气向上爬升,是对流天气的主要触发因素。

5 结 论

(1)本次区域性雷雨冰雹过程是典型的冷平流型,高层到低层为一致的西北气流,冷平流是对流发生的主要触发因素,冷平流随高度增加使不稳定层结得以建立、维持和加强。

(2)高原东侧到甘肃中部有弱的能量锋存在,当 500 hPa 干冷空气随西北气流南下侵入时,触发了强烈的对流。对多普勒雷达强度及径向速度回波的分析,支持了这一结论。

(3)300 hPa 高空急流和较强的风速垂直切变,为上升运动的维持提供了有利条件,利于冰雹的产生。

(4)2 个对流云团的交汇处,由于外流气流相遇引发强烈的上升运动,并有可能产生中尺度气旋流场,使对流云强烈发展。

(5)对于中小尺度天气系统引起的强雷阵雨、阵雨、暴雨、冰雹、大风天气及次生灾害,应首先仔细分析大尺度环境场属于什么型,并充分应用实况物理量场动力条件、水汽条件、不稳定层结、风场等资料,特别要加强对多普勒雷达回波强度、速度、谱宽及衍生资料的分析应用。径向风场反演方法,可以很直观地了解降水天气系统内部风场结构和发展机理。强度图上回波达到 50 dBz 以上,出现“人字型”、“弓型”回波……、径向速度图上出现中尺度气旋对、径向速度的辐合边界……,这些区域都可能出现冰雹等强对流天气。

参考文献:

- [1] 孙国武. 兰州区域气象中心业务系统手册[M]. 北京:气象出版社,1993. 256.
- [2] 陈乾,朱阳生. 甘肃省雹暴的分类及其诊断分析[A]. 强对流天气文集[C]. 北京:气象出版社,1983. 15-24.
- [3] 白肇焯,徐国昌,孙学筠,等. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版社,1988. 299-300.
- [4] 雷雨顺. 能量天气学[M]. 北京:气象出版社,1986. 88-92.
- [5] 胡明宝,高太长,汤达章. 多普勒天气雷达资料分析与应用[M]. 北京:解放军出版社,2000. 189-191.
- [6] 徐阳春,陆晓静,沈阳,等. 2003~2004 年强对流灾害性天气多普勒雷达产品特征分析[J]. 干旱气象,2005,23(1):39-43.

A Synthetical Analysis of a Severe Convective Weather Event

Ji Hui-min, Ji Lan-zhi, WANG Xi-wen, LI Wen-li

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract The causes of a heavy rain with hails and thunderstorm which occurred in the east part of Gansu province on July 4th 2004, were analyzed from three aspects of the synoptic environment, physical quantity field and the characteristics of Doppler radar echoes. Results show that it was a typical northwest flow pattern at the level of 500 hPa, and the intensity of cold advection increasing with height resulted in instability energy accumulation, the dry and cold air touching off the energy front from the east side of Tibet plateau to the middle part of Gansu province led to the strong convection. The evolution of radar echoes showed that the hailstones came from multi-cell storms and the meso- γ scale cyclone could be identified by the radial velocity products of Doppler radar.

Key words hail; energy front; Doppler radar echoes; meso-scale cyclone