

孟妙志,卢晔,王仲文,等. 关中秋季飊线天气成因和中尺度特征分析[J]. 陕西气象,2017(2):1-6.

文章编号:1006-4354(2017)02-01-06

关中秋季飊线天气成因和中尺度特征分析

孟妙志¹,卢 晔¹,王仲文¹,井 宇²,任 欢¹,王 婷¹

(1. 宝鸡市气象局,陕西宝鸡 721006;2. 陕西省气象台,西安 710014)

摘 要:利用 MICAPS 资料、NCEP1°×1°再分析资料和卫星云图、宝鸡多普勒雷达资料,对陕西关中 2010 年 9 月 3 日和 2013 年 9 月 12 日两次飊线天气过程(下分别简称“9·3”过程、“9·12”过程)的环境场和形成机制及中尺度特征进行了分析。结果表明:两次过程天气背景和机制不同,“9·3”过程为槽前型,其中层干侵入致使对流不稳定发展、低涡切变提供了初始上升运动和较强的水汽辐合,地面上雷暴高压形成的切变线是飊线的触发机制和组织发展系统;“9·12”过程为槽后型,高层干冷平流的侵入加强了对流不稳定层结,水汽辐合偏弱,地面干线是强对流的触发机制。两次过程中尺度系统特征明显,卫星云图上为对流单体合并为中 β 尺度云团;雷达图上为雷暴单体弥合为带状回波,进而出现弓形回波,弓形回波中存在中层径向辐合对应的强回波核;强回波的三体散射是出现冰雹天气的主要特征。

关键词:飊线;环境场;中尺度特征;弓形回波;三体散射

中图分类号:P458

文献标识码:A

宝鸡位于关中西部,与“六盘山雹源”临近,夏季极易出现强对流天气,且以 2~3 站的局地强对流天气为主。但 2010 年 9 月 3 日和 2013 年 9 月 12 日宝鸡出现了以大风和冰雹为主的区域性强对流天气,大风和冰雹均创当地记录,从观测资料分析,这两次强对流天气均由飊线系统引发。已有文献^[1-2]对陕西境内夏季发生的飊线进行过中尺度特征分析,指出 500 hPa 低槽、700 hPa 陇东低涡是飊线发生前强对流天气的直接影响系统;姚晨等^[3]、曲晓波等^[4]对南方夏季飊线进行对比分析,指出高层强冷平流与低层暖平流的叠加是飊线的共同特征之一,飊线在雷达回波上均表现为典型的弓形回波。但有关秋季产生的飊线过程的研究较少,因此有必要对关中秋季飊线的特征进行分析,积累预报经验。

1 天气概况

2010 年 9 月 3 日 14—22 时,宝鸡市 10 县(区)自西北—东南先后出现冰雹、雷雨大风和短时暴雨

天气过程(简称“9·3”过程),其中 4 县出现冰雹(冰雹直径最大为 0.5 cm)、2 县出现大风(岐山最大风速达 28.6 m/s,打破历史纪录),4 县出现短时暴雨(最大雨强为 21 mm/h),造成严重的灾害:大树连根拔起,电力、通讯设施受损,部分地方停电数日,直接经济损失达数千万元。

2013 年 9 月 12 日 16—21 时,宝鸡 9 县(区)自西北—东南先后出现强对流天气(简称“9·12”过程),其中 4 县降雹、2 县出现大风(陈仓最大风速为 21.4 m/s)。千阳县降雹时长达 17 min、冰雹直径约 1.2 cm,为建站来范围最大的冰雹天气,导致蔬果受损严重。

两次过程路径均为西北路,影响区域基本一致,均有冰雹和雷雨大风,但“9·3”过程以强降水为主,伴有小冰雹并出现极值大风;“9·12”过程出现较长时间冰雹,伴有弱降水。

2 天气形势配置

“9·3”过程中,3 日 08 时,500 hPa 天气图

收稿日期:2016-05-24

作者简介:孟妙志(1964—),女,汉族,甘肃平凉人,学士,高工,从事天气预报及其研究。

基金项目:2015 年中国气象局预报员专项(CMAYBY2015-075);陕西省气象局重点科研项目(2016z-5)

上,欧亚中高纬度呈两脊一槽型,贝加尔湖以西维持一低槽,低槽底部分裂的短波冷槽位于河套北部。20时,500 hPa 短波冷槽向南加深位于陕西上空。700 hPa,平凉、延安、西安上空形成风向辐合的低涡(中心位于陇东),低涡西南部的关中地区存在“人”字型切变;低涡西北部为 $t-t_d \leq 4^\circ\text{C}$ 的湿区;其东南部有干舌,低涡斜压性明显。850 hPa,河套地区08时 $t-t_d \leq 4^\circ\text{C}$ 、 $t \leq 12^\circ\text{C}$,大气处于湿冷状态;20时, $t \geq 19^\circ\text{C}$,大气逐渐变暖。因此关中上空演变为上干冷下暖湿的不稳定层结(西安站 $t_{850-500} > 28^\circ\text{C}$, $S_i < -2^\circ\text{C}$),短波槽、低涡切变线、不稳定层结的系统配置(图1a)有利于关中强对流天气发生。

地面图上,3日08时关中有雾,14—17时,有干线自上游东移到平凉、平凉出现雷阵雨并形成雷暴高压,冷高压与前部暖湿区在陇县一线形成明显的冷式切变线,切变线后部的平凉站, $t = 16^\circ\text{C}$, $t_d = 12^\circ\text{C}$,切变线前部的陇县站 $t = 21^\circ\text{C}$, $t_d = 18^\circ\text{C}$,切变线后干冷、前暖湿,强对流沿切变线形成并发展。切变线是强对流的触发机制,又是飑线的组织系统。

“9·12”过程中,12日08—20时,500 hPa天气图上,欧亚中高纬度维持两脊一槽型。中纬度地区新疆—青藏高原东为一高脊,110°E为低槽,槽后干冷平流明显,陕西位于冷槽后的西北气流

中,且有 $t-t_d \geq 20^\circ\text{C}$ 干舌自宁夏伸到陕西。700 hPa天气图上,延安—平凉有一切变线,切变线后有干舌(银川、兰州、平凉站 $t-t_d \geq 15^\circ\text{C}$),与前方西安湿区(切变线前部的西安站 $t-t_d = 2^\circ\text{C}$)形成干线($\Delta t_d > 10^\circ\text{C}$)。850 hPa天气图上,有暖脊自河西伸到陕西上空。关中具有上干冷下暖湿层结($t_{850-500} > 28^\circ\text{C}$),且低层有切变,系统配置(图1b)利于关中强对流天气产生。

地面图天气上,08时关中有雾,14时延安、平凉西侧有干线,干线两侧 t_d 相差 12°C , t 相差 14°C 。17时位于干线附近的陇东出现带状雷暴,干线为飑线的触发系统。18时带状雷暴移入关中西部,发展为飑线。

综上,“9·3”过程为“低槽型”,即500 hPa低槽和温度槽、700 hPa低涡切变为天气尺度影响系统,雷暴高压形成冷式切变线为强对流的触发机制。“9·12”过程为“槽后型”^[3],500 hPa温度槽、700 hPa切变为天气尺度影响系统,干线是强对流的触发系统。

3 环境场物理量分析

天气尺度系统配置为强对流中尺度系统发生、发展提供了条件。下面利用NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料探讨两次飑线时关中热力条件、水汽和动力条件。

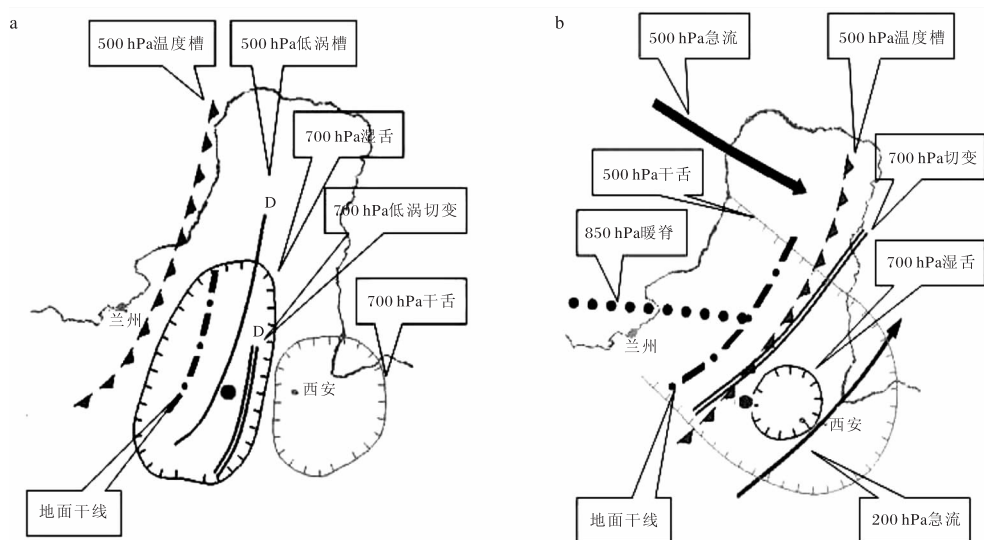


图1 2010-09-03(a)和2013-09-12(b)飑线中尺度分析图(图中黑点为飑线发展区)

3.1 热力条件

在 θ_{se} 和风矢量沿 34.5°N 的垂直剖面图上,2010年9月3日14时(图2a),关中($107^{\circ}\text{E}\sim 108^{\circ}\text{E}$)低层有 θ_{se} 高值区对应暖湿上升气流,其东侧高层500 hPa有 θ_{se} 低值区对应干冷下沉气流,关中700 hPa存在一自东侧伸入的 θ_{se} 低值区,即干舌侵入,因此在关中地区850~500 hPa形成明显的对流不稳定,不稳定层主要位于850~700 hPa。2013年9月12日14时(图2b),关中低层 θ_{se} 高值区对应上升运动,500 hPa θ_{se} 低值对应强西北下沉气流区,关中850~500 hPa形成明显的对流不稳定,不稳定层主要位于700~500 hPa。两次过程共同点:08—14时,由于地面辐射加热、低层迅速增暖,850 hPa以下 θ_{se} 均增加 8°C ;“9·3”过程由中低层干侵入致对流不稳定发展;“9·12”过程由中高层干冷平流侵入致对流不稳定发展。

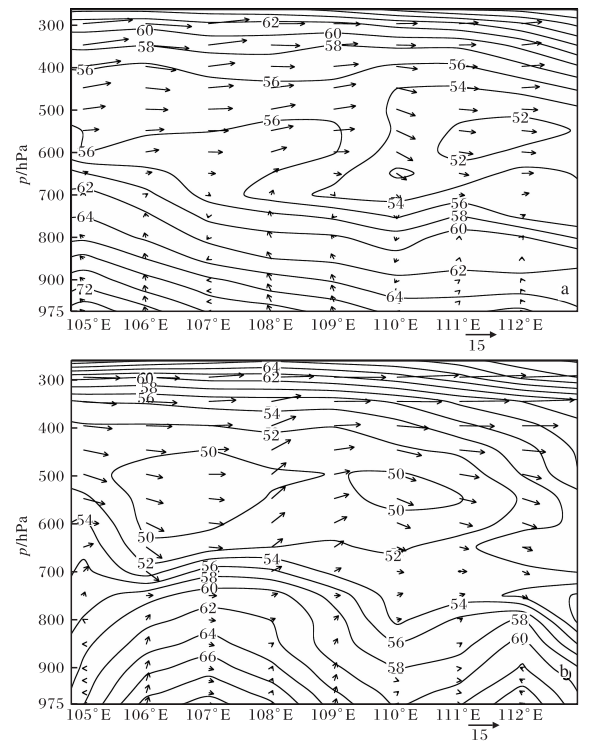


图2 2010-09-03(a)和2013-09-12(b)过程假相当位温 θ_{se} (单位为 $^{\circ}\text{C}$)和风矢量图

3.2 水汽条件

沿 34.5°N 水汽通量散度垂直剖面图上(图略),2010年9月3日20时,关中在700 hPa有明显的水汽辐合中心,中心值 $\leq -30\times 10^{-8}\text{ g/cm}^2$

$\cdot \text{hPa}\cdot \text{s}$,即强对流期间有较强的水汽辐合;2013年9月12日20时,关中700 hPa水汽辐合较弱,中心值 $\leq -10\times 10^{-8}\text{ g/cm}^2\cdot \text{hPa}\cdot \text{s}$ 。两次过程均为700 hPa提供水汽辐合;“9·3”过程中水汽辐合强,飊线时伴有短时强降水,“9·12”过程水汽辐合偏弱,飊线伴有弱降水。

3.3 动力条件

沿 34.5°N 垂直速度剖面图上,2010年9月3日08—20时(图3a),关中低层至300 hPa上升运动持续发展,其中心值为 $-8\times 10^{-3}\text{ hPa/s}$,一直在850~700 hPa;同期关中东侧为下沉运动,形成径向垂直环流圈,飊线产生于此中尺度垂直环流圈的上升气流中。2013年9月12日08—14时(图3b),关中低层由下沉气流变为弱上升气流,700 hPa以上高层维持强上升运动,上升中心一直在500 hPa,关中西侧中高层有强下沉运动,为关中对流发展提供了干冷侵入,20时,西侧强下沉气流在关中西部形成冷堆、关中高层上升运动强烈发展到300 hPa,中心值达 $-9\times 10^{-3}\text{ hPa/s}$ 。

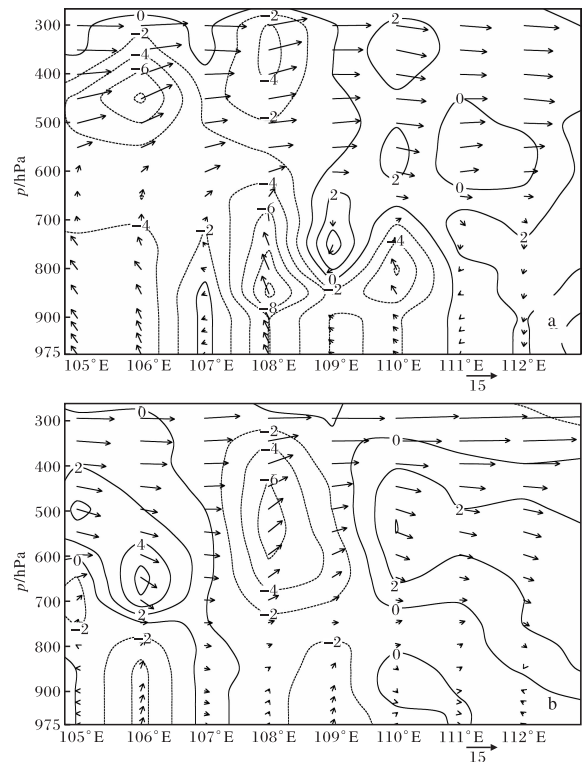


图3 2010-09-03(a)和2013-09-12(b)过程沿 34.5°N 垂直速度(单位为 10^{-4} hPa/s)和风矢量垂直剖面图

即“9·3”过程,天气尺度提供了初始上升运动,利于强对流发展、加强;“9·12”过程,持续的高层强上升运动,有利于低层气旋的形成和上升运动的发展。

分析两次过程散度场(图略)可见,“9·3”过程对应 700 hPa 低涡切变,关中为辐合区;“9·12”过程对应 200 hPa 急流,关中为辐散区。

综合分析,“9·3”过程,中低层干侵入导致对流不稳定发展,700 hPa 低涡切变提供了初始上升运动和强水汽辐合,利于对流发展和强降水产生;“9·12”过程,中高层干冷平流侵入与低层暖平流的叠加导致对流不稳定发展,高空急流的辐散作用引起高层强上升运动,造成低层减压,激发低层气旋的生成并形成深厚对流。

4 层结分析

分析过程当日 08、20 时关中层结的演变。由西安探空图(略)可见,两次过程层结状况演变十

分相似,均为由稳定层结演变为对流不稳定。两个过程发生当日的 08 时,关中层结为下湿上干(700 hPa 以下),近地层有逆温;500 hPa 以下风向顺转有暖平流,500 hPa 以上风向逆转有冷平流,预示不稳定有发展的趋向。由两次过程有关对流参数(表 1)可见,两次过程 08 时,西安 $K \leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、CAPE 值 $\leq 50\text{ J/kg}$, $S_i \geq 0$,即关中层结稳定、不稳定能量小;两个过程发生当日的 20 时,对流不稳定剧增, $K \geq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、CAPE 值 $\geq 963\text{ J/kg}$ 、 $S_i \leq -2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,关中演变为有利于强对流发生的大气层结,且风垂直切变 $\geq 3.2 \times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$, $t_{(850-500)} > 28\text{ }^{\circ}\text{C}$,符合本地强对流指标。两个过程水汽差别显著,中低层(850~500 hPa)比湿和,“9·3”过程为 22.6 g/kg ,较“9·12”过程大一倍,有利于降水产生;“9·12”过程中关中 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高度明显偏低,有利于冰雹的产生。

表 1 两次飊线过程对流参数和特征高度

对流参数和特征高度	2010-09-03		2013-09-12	
	08 时	20 时	08 时	20 时
-20 $^{\circ}\text{C}$ 高度/km	7.23	7.20	7.19	6.97
$K/^{\circ}\text{C}$	28	32	26	33
$S_i/^{\circ}\text{C}$	0	-2.3	1.8	-3.8
CAPE 值/(J/kg)	20	963.5	50	1 353
比湿和/(g/kg)	26.6	22.7	12.5	12.1
$t_{(850-500)}/^{\circ}\text{C}$	26	29	29	35
850~200 hPa 垂直切变/ s^{-1}	2.3×10^{-3}	3.2×10^{-3}	3.5×10^{-3}	3.3×10^{-3}

5 中尺度特征分析

5.1 卫星云图

由两次过程卫星云图演变(图略)可见,飊线生命史为初始阶段—发展和成熟阶段—减弱阶段。初始阶段表现为带状排列的分散的中小尺度单体;在发展和成熟阶段,带状排列的中小尺度单体合并为中 β 尺度云团,最低云顶亮温为 $-60\sim -58\text{ }^{\circ}\text{C}$;减弱阶段,中 β 尺度云团云顶亮温升高,云团边界开始模糊。两次飊线过程均在关中西部形成,影响时间长度为 $10\sim 12\text{ h}$ 。

5.2 雷达资料

宝鸡多普勒雷达回波演变显示两次飊线过程有相似的演变。均由单体回波逐渐弥合为带状回波,带状回波发展为弓形回波,此时飊线回波范围最大、强度最强,回波长 $130\sim 140\text{ km}$,宽 40 km ,回波中心最强达 65 dBz ,对应地面出现冰雹和大风。其后弓形带状回波断裂为块状并减弱。

下面重点分析两次飊线中产生冰雹大风的弓形回波和三体散射特征。

“9·3”飊线过程中,3 日 21 时左右,飊线最

强盛,出现弓形回波(图略),回波最大强度为 65 dBz,飊线回波带长 140 km,相对应的径向速度图上(图略),辐合区呈带状,表明对流非常旺盛,0.5°仰角径向速度图中出现速度模糊。弓形回波的剖面图(图 4a、图 4b)上,≥45 dBz 的强回波高度达 5 km,最强回波在 3 km 高度附近

(图 4a 中黑色圈);对应径向速度剖面图中有中层径向速度辐合(图 4b 中黑色圈),同时可以看出风暴下沉气流明显,近地层大风区出现速度模糊,此时对应岐山出现 28.6 m/s 的大风,并伴有直径 0.5 cm 的冰雹。21:24,飊线回波带开始演变为块状,出现短时暴雨。

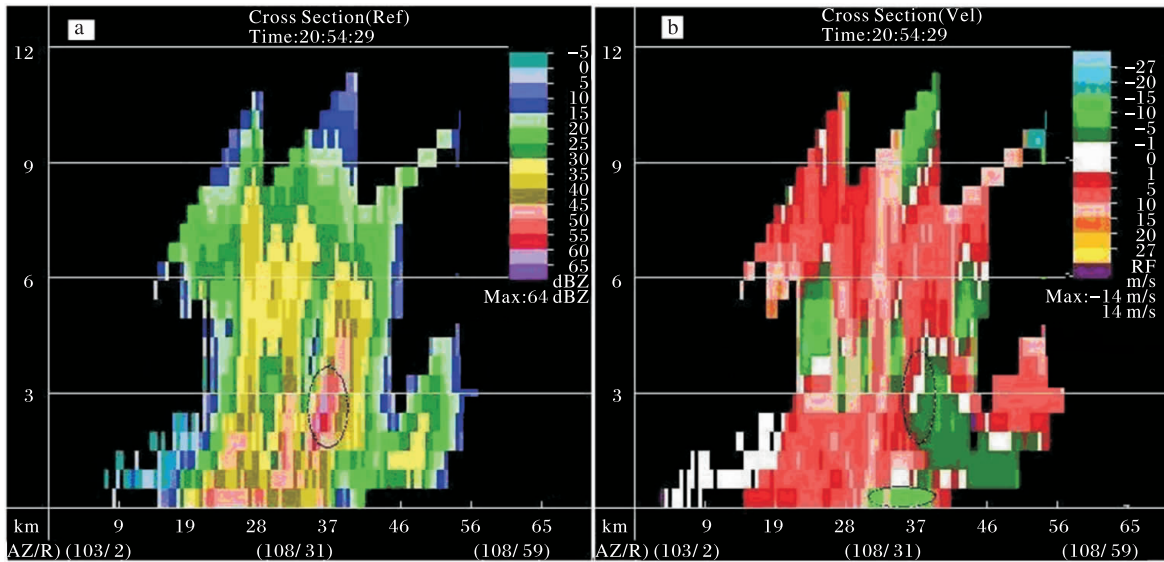


图 4 2010-09-03T20:54:29 宝鸡多普勒雷达飊线剖面图(a 为基本反射率,黑色圈为强回波核; b 为基本径向速度,上、下黑色圈分别为中层径向速度辐合和近地层速度模糊)

“9·12”过程中,12 日 17—18 时,飊线为对流单体阶段,单体最大强度达 64 dBz,此时陇县、千阳两县降冰雹。从图 5a、图 5b 可以看出,在千阳出现冰雹时,雷达的基本反射率因子图上,17:31 出现了明显的三体散射现象,此三体散射持续 4 个体扫,千阳降雹持续 17 min(冰雹直径 1.2 cm)。对应此强回波的剖面图(图 5c、图 5d)上,≥45 dBz 强回波高度达 8 km,非常有利于冰雹增长;径向速度剖面中,风暴辐合层深厚,6 km 以下辐合明显,因此风暴发展旺盛,强回波持续时间长,降雹时间也长。

12 日 18 时后,对流单体连成带状并出现弓形回波(图 5e、图 5f)。18:39 组合反射率图上弓形回波显著,而 6.0°仰角 18:27 已经出现弓形回波特征。弓形回波的剖面图(图 5g)显示,≥45 dBz 强回波高度达 9 km,强回波有悬垂回波特征,预示有冰雹;速度剖面图(图 5h)上,在 5 km 高度上中层径向辐合显著,风暴高层前部有强辐

散,后部有强下沉辐散气流,受弓形回波影响,陈仓出现 21.4 m/s 的大风并伴有小冰雹。

通过对比可以发现,两次过程中仰角 6.0°产品图较低仰角早 2 个体扫反映弓形回波、三体散射等特征,因此实时业务中要关注高仰角产品的使用。

6 小结

(1)“9·3”过程和“9·12”过程分别发生于槽前、槽后两种不同天气形势,热力、动力、水汽条件有差别。“9·3”过程由中层干侵入致对流不稳定发展,700 hPa 低涡切变提供了初始上升运动和较强的水汽辐合,地面切变线是飊线的触发机制和组织发展系统,较强的水汽辐合和较大的比湿,利于强降水出现。“9·12”过程由中高层干冷平流致对流不稳定发展,高层强上升运动激发低层扰动,地面干线是强对流的触发机制。

(2)两次飊线过程中尺度特征明显。卫星云图上为分散的中小尺度对流单体发展合并为中β尺度云团。

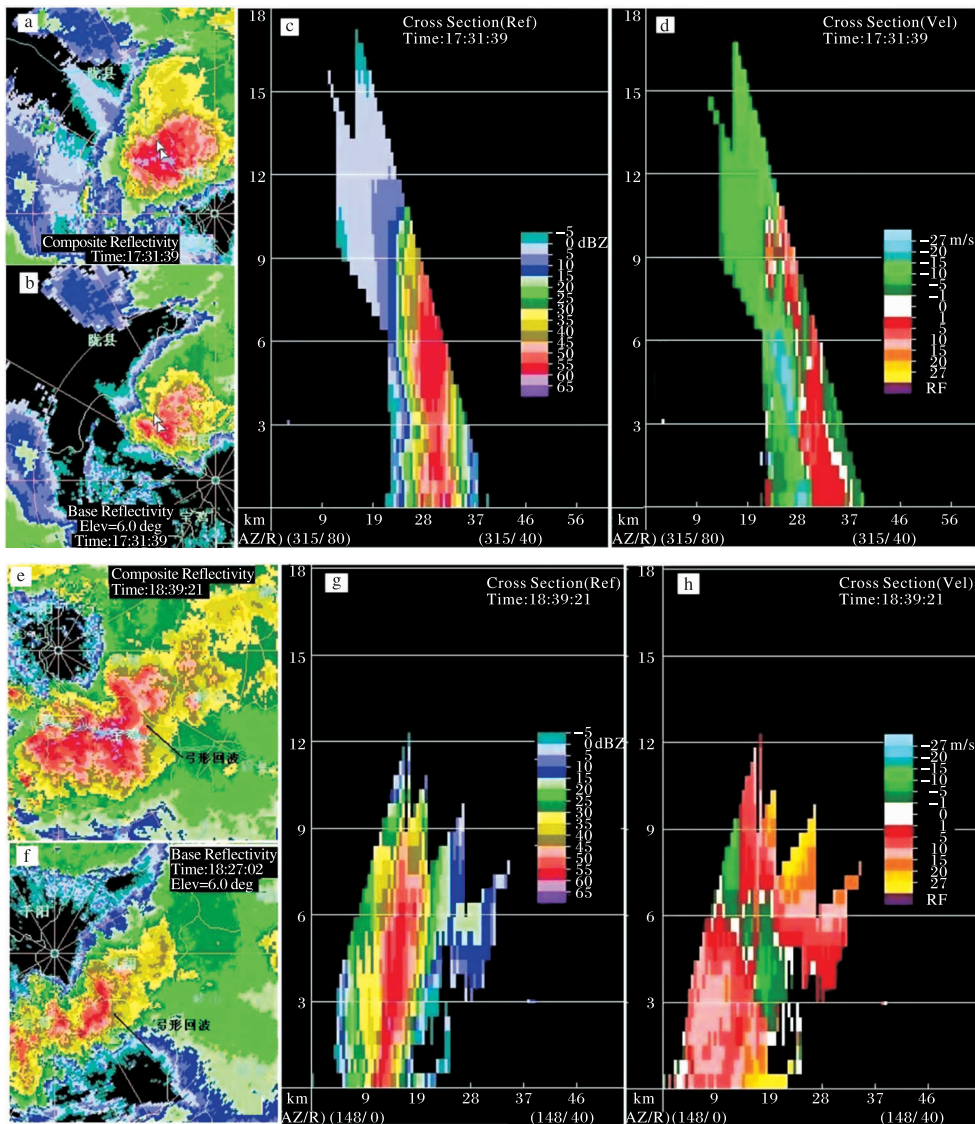


图5 2013-09-12T17:31:39(a为组合反射率,b为6.0°基本反射率,c为反射率因子剖面,d为径向速度剖面)和2013-09-12T18:39:21宝鸡多普勒雷达图(e为组合反射率,f为6.0°基本反射率,g为反射率因子剖面,h为径向速度剖面)

(3)雷达回波上为强风暴单体演变为带状回波,并出现弓形回波。两次飊线弓形回波均有中层径向速度辐合对应强回波核心,造成大风、冰雹天气。强回波的三体散射持续对应持续降雹。弓形回波、三体散射等特征在6.0°仰角产品中可较低仰角产品早2个体扫反映,对强对流天气预警有指示意义。

参考文献:

[1] 武麦风,毛玉琴. 一次强飊线过程的卫星云图和雷

达回波特征分析[J]. 干旱气象, 2006, 24(4): 45-50.
[2] 高洁,崔竹园,靳英燕,等. 陕北一次飊线过程的中尺度特征分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 327-331.
[3] 姚晨,郑媛媛,张雪晨. 长生命史飊线在强、弱对流降水过程中的异同点分析[J]. 高原气象, 2012, 31(5): 1366.
[4] 曲晓波,王建捷,杨晓霞,等. 2009年6月淮河中下游三次飊线过程的对比分析[J]. 气象, 2010, 36(7): 151-159.