

陕西一次重致灾强对流天气机理研究

姚静^{1,2}, 高庆九¹, 俞小鼎³, 李萍云²

(1. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏南京 210044; 2. 陕西省气象台, 陕西西安 710015; 3. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

摘要 利用常规资料、地面自动站资料、FY-2E 卫星 TBB 资料(0.1°×0.1°)、西安多普勒天气雷达资料, 采用天气动力学诊断方法和强天气分析技术对 2015 年 5 月 7 日的陕西省商洛地区强对流天气过程的大尺度环流背景、物理量场、中小尺度天气系统演变特征及规律进行分析。结果表明, 强对流主要位于暖湿空气与干冷空气的交界处, 地面温度、露点温度、海平面气压、风场分析清晰地反映出地面冷锋和低压倒槽的交汇区域, 冷暖空气的过渡区对于强对流天气的落区判断有指示作用。中尺度天气系统发展的强盛程度通过 TBB 的时间演变图可以清楚地进行判断。强对流大多发生在 TBB 梯度大值区, 冰雹云团大多产生在云团成熟期之前。多普勒天气雷达上的强回波结构对于预警有提前预判的提示作用。在此次致灾天气过程中, 明显低层弱回波区和中高层的悬垂回波结构, 中层强回波中心与低层位移达 1.5 km 左右, 预示了降冰雹的潜势。45 dBz 强度的回波延伸至 9 km 以上, 这些指标对准确做出强对流天气预警有较好的指示意义。

关键词 强对流; TBB; 雷达; 地面能量比

中图分类号 S165+.2; P458.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)09-221-06

Cause Analysis of a Severe Convective Weather Process in Shaanxi

YAO Jing^{1,2}, GAO Qing-jiu¹, YU Xiao-ding³ et al (1. College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2 Shaanxi Provincial Meteorological Observatory, Xi'an, Shaanxi 710015; 3. Meteorology Cadre Training Institute of China Meteorological Bureau, Beijing 100081)

Abstract Based on conventional data, ground automatic station data, FY-2E satellite TBB data(0.1°×0.1°), Xi'an Doppler weather radar data, the large scale circulation background, physical quantity field, evolution features and law of small scale weather system were analyzed by using the weather dynamic diagnosis method and strong weather analysis technology in Shangluo of Shaanxi Province on May 7, 2015. The results showed that strong convection was mainly at the junction of warm air and cold air, ground temperature, dew point temperature, sea level pressure, wind field analysis, can clearly see the confluence area of surface cold front position and low pressure inverted trough. The development of mesoscale weather system can be clearly judged by the time evolution of TBB. Strong convection occurs mostly in the high value region of the TBB gradient, hail clouds are born before the maturity of cloud. String echo structure on Doppler weather radar plays an important role in early warning. The hail weather was formed in the lower layer and weak echo region in the middle high overhang echo structure, strong echo center and low layer displacement of about 1.5 km, indicating the potential drop of hail. The echo of 45dBz intensity was extended to above 9 km, and these indexes have good instruction significance for making strong convective weather warning.

Key words Strong convection; TBB; Radar; Ground energy ratio

强对流天气具有影响范围小、发展速度快、持续时间短的特点, 它的发生伴有雷暴、短时暴雨、冰雹、大风等灾害性天气。强对流天气突发性、局地性很强, 经常会造成非常严重的自然灾害。20 世纪 60~70 年代, 美国、日本在与大冰雹相关的超级单体风暴方面进行了深入的研究^[1-5], 国内学者也针对风雹天气的特征和成因进行了大量分析, 并得出了一些研究成果^[6-8]。这些研究对于强对流天气的发展规律和预报着眼点比较有利, 但在非常规资料的应用方面以及中尺度系统的发展变化方面探讨的还不够深入。陕西省商洛市位于陕西的东南部、秦巴山区, 近些年来对流天气比较频繁, 给当地工农业和人民生活带来了巨大的影响。笔者利用常规资料、地面自动站资料、FY-2E 卫星 TBB 资料(0.1°×0.1°)、西安多普勒天气雷达资料, 采用天气动力学诊断方法和强天气分析技术, 对 2015 年 5 月 7 日的强对流天气过程的大尺度环流背景、物理量场、中尺度天气系统演变规律进行了研究, 以期为此类强对流天气的预报提供客观依据。

1 强对流天气概况

5 月 7 日 18:00~8 日 08:00, 陕西南部商洛大部分县(区)雷电交加, 大雨倾盆; 商州、丹凤瞬间极大风速分别达 23、32 m/s, 雷雨交杂着冰雹倾泻而下。该时段内各自动站降雨量为 11.9~51.7 mm, 乡镇站雨量超过 50 mm 的有 37 站, 主要集中商州、山阳、商南和丹凤, 最大为丹凤县土门 104.5 mm。据商洛市民政局初步统计, 此次灾害造成 65 825 人受灾, 因灾死亡 1 人, 倒塌民房 9 户 29 间, 农作物受灾面积 2 811 hm², 绝收面积 74 hm², 因灾直接经济损失 1 867 万元。

2 环流形势分析

2.1 高空环流形势 5 月 7 日 08:00 200 hPa(图 1a), 副热带西风急流位于 25°~40°N, 陕西位于急流入口区、急流轴左侧; 500 hPa(图 1b), 贝加尔湖西部有低涡活动, 巴尔喀什湖为一高脊, 西风槽位于甘肃中部至四川北部一带, 冷槽范围较大, 跨越南北 10 个纬度以上; 700 hPa(图 1c), 在甘肃东南部到陕西南部有一条东西向的切变线, 切变线南侧重庆南部—四川东北部—陕西南部一带是强盛的西南急流, 急流上有明显的风速辐合; 850 hPa(图 1d), 陕西基本位于均压场内, 关键区(110°E、34°N 附近)陕南东部—湖北西北部有切变线发展。

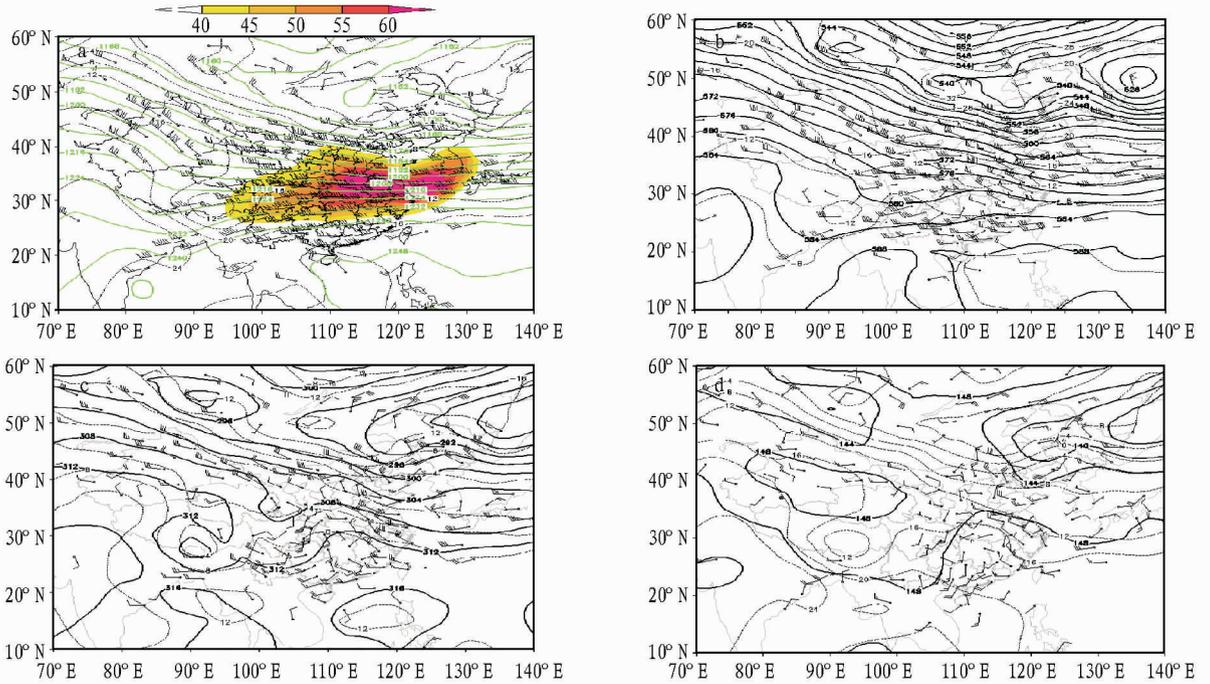
2.2 地面形势

2.2.1 温度场、露点场。 5 月 7 日 08:00(图 2a), 陕西及周

基金项目 中国气象局山洪气象保障工程业务建设项目陕西分项目(2013133); 陕西省气象局重点科研项目(2011Z-1); 2015 陕西省预报员专项(2015Y-3)。

作者简介 姚静(1985-), 女, 陕西富平人, 工程师, 在读硕士, 从事短时临近预报研究。

收稿日期 2016-02-10



注:a. 200 hPa; b. 500 hPa; c. 700 hPa; d. 850 hPa。虚线代表温度场(°C);实线代表位势高度场(dagpm)。图1a中彩色阴影区为风速 > 40 m/s 的高空急流区。

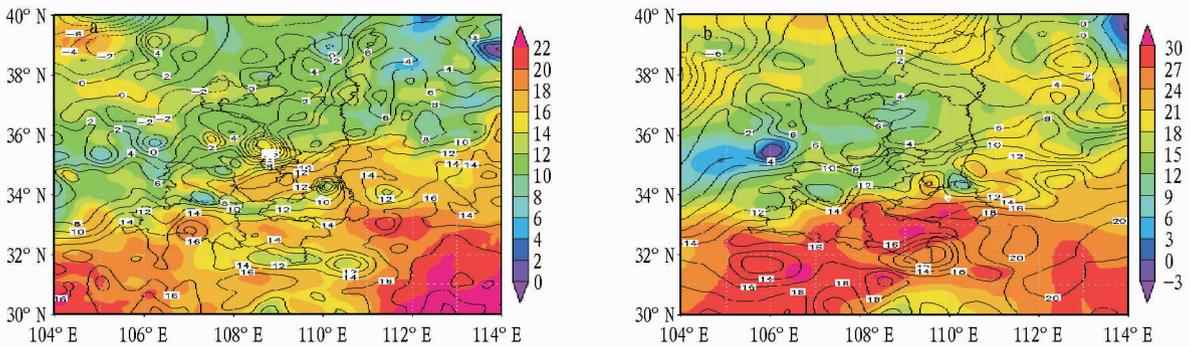
Note:a. 200 hPa; b. 500 hPa; c. 700 hPa; d. 850 hPa. The dotted line represents the temperature field(°C); the solid line represents the geopotential height field(dagpm). The colour shadow area in figure 1 a is upper level jet area with wind speed above 40 m/s.

图1 2015年5月7日08:00各高度层水平风场、温度场和位势高度场

Fig.1 The wind fields, temperature fields and geopotential height in each height layer at 08:00 on May 7, 2015

边温度总体呈现北冷南暖的形势,这种分布形势一方面反映了温度随纬度的分布,另一方面主要反映了冷锋南压时温度场特征;冷高压中心位于贝加尔湖西侧,中心气压为1 022.5 hPa;但在34° N受地形明显影响,有一个东西温度低值带;陕西境内在34° N和36° N附近各有一个露点大值区,36° N的湿区中心位于关键区附近,等露点梯度分布密集;高温高湿中心基本重合。这种分布结构有利于对流发生。17:00(图2b)陕西及东部邻省的温度基本是南高北低、东高西低的走势,南北趋势反映了温度场随纬度变化的特征。在109°~111° E有2条明显的温度脊,走向分别为南北

向、东西向。南北向的脊可能是该地区的偏南暖平流输送引起,横向的脊可能是由于地面倒槽前的偏东暖平流输送所致,暖平流的输送将会引起地面气层的不稳定。110.5° E附近,这2个温度脊之间夹持一个明显的温度槽,形成一个倒“Ω”形,这一区域形成温度梯度大值区。温度槽可能是地面冷锋的东移南压引起。温度场的分布特征与地面气压场相互对应。冷暖空气的过渡区有利于发生强对流天气,且多在暖区发生。露点温度与温度场分布呈现北干南湿、干冷暖湿中心基本重合的特点。冷暖空气的过渡区可导致强烈的对流风暴。



注:等值线代表露点温度(°C);阴影代表温度场(°C)。

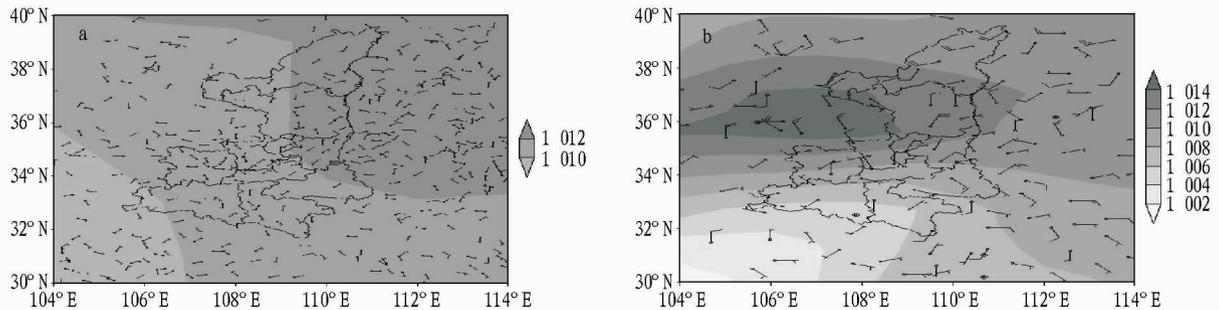
Note:Contour line represents dew-point temperature(°C); shadow represents temperature field(°C).

图2 2015年5月7日08:00(a)和17:00(b)露点温度和温度场

Fig.2 The dew-point temperature and temperature field at 08:00 (a) and 17:00 (b) on May 7, 2015

2.2.2 海平面气压、风场。5月7日08:00(图3a),气压场是典型的冷锋南压形势,陕西位于冷锋前,关键区北侧存在一个风场辐合带,形成辐合带的原因一方面是受地形影响,另一方面是冷锋前沿南压,同时四川到陕西南部的低压倒槽对峙造成的。辐合区域有利于对流天气发生。17:00(图

3b),典型的冷锋南压与河套倒槽相遇,在 $33^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 气压梯度密集,形成明显的锋区。倒槽东侧的西南暖湿气流不断向关键区输送水汽,同时河套北部冷锋继续南下,其前沿到达关键区北侧,冷暖空气在关中南部相遇,在 $33^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 风场上出现偏北风与西南风的强辐合区,有利于对流天气发生。



注:阴影代表气压场(dagpm);风羽代表风场(m/s)。

Note:Shadow represents pressure field(dagpm); barb represents wind field(m/s).

图3 2015年5月7日08:00(a)和17:00(b)气压场与风场

Fig.3 The pressure field and wind field at 08:00(a) and 17:00(b) on May 7 2015

3 物理量场诊断分析

3.1 动力场 沿 110°E 的垂直速度剖面(图4)表明,7日08:00在 34°N 附近地区对流层各层均为下沉运动,抬升条件较差;20:00,关键区附近整层为上升运动,最大上升速度接近400 hPa,其值 $> -2.5 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$,抬升条件非常有利于对流天气的发生。在20:00前后,由于四川北部—陕西北

部—山西中部200 hPa出现了西南—东北向的高空急流,风速达 40 m/s 以上,低层700 hPa在湖北西南—河南西部有西南急流发展,关键区位于200 hPa高空急流入口区右侧、700 hPa低空急流出口区左侧,高空辐散、低空辐合,抽气作用明显^[9],上升运动得到强烈发展,为短时强降水的产生提供了有利的条件。

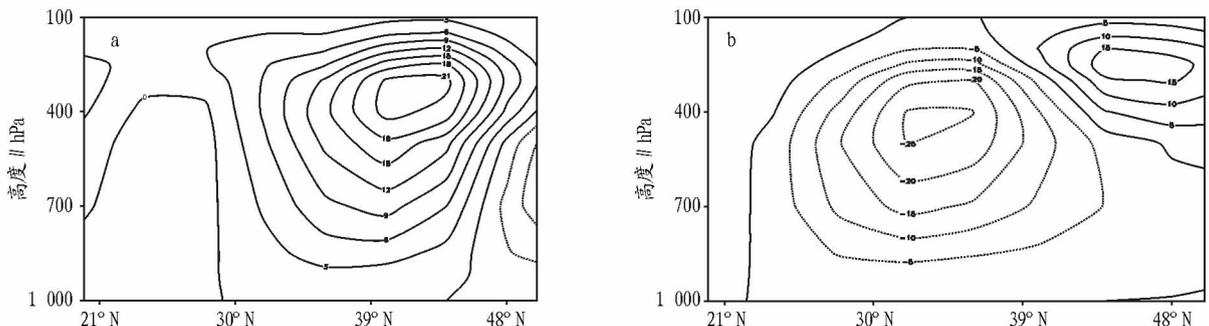


图4 2015年5月7日08:00(a)和20:00(b)沿 110°E 的垂直速度剖面(单位: 10^{-4} hPa/s)

Fig.4 Vertical velocity profile along 110°E at 08:00(a) and 20:00(b) on May 7, 2015

3.2 水汽条件 5月7日08:00,关键区附近对流层中低层的水汽通量是 $1.0 \sim 1.5 \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s})$,水汽通量散度场垂直剖面依次是弱辐合—弱辐散—弱辐合场(图5a),水汽条件较差。7日20:00,500 hPa以下,关键区的水汽通量增大为 $3.0 \sim 5.0 \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s})$,水汽通量散度骤增(图5b);关键区附近,400 hPa以下均为深厚的水汽辐合区,700 hPa以下水汽通量散度极值为 $-0.8 \times 10^{-8} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,正好位于关键区上空,是一个较强的辐合中心,强的水汽辐合有利于对流的生成和发展。7日19:00~21:00商洛大部分县(区)雷电交加,大雨倾盆,该时段内超过20 mm的有30站,主要集中在商州、山阳、商南和丹凤,最大为丹凤县土门104.5 mm;部分群众房屋进水、倒塌,供电中断,给群众生产生活带来严重影响。

3.3 单站要素 安康探空站位于关键区西部,分析安康探空站可以更好地了解关键区附近强对流发展前后大气的状况。安康5月7日08:00 K指数为 40°C ,表现为不稳定层结特征;600 hPa以下相对湿度接近饱和;925~500 hPa垂直风切变非常大,约为 18 m/s ,700 hPa西南风速达 10 m/s ,水汽输送较强,有利于强对流天气发展。20:00安康站对流有效位能CAPE为 1392.4 J/kg ,不稳定能量非常强;700 hPa西南风速达 12 m/s ,结合700 hPa天气图分析,此时关键区附近形成低空急流,925~500 hPa垂直风切变约为 16 m/s 。7日20:00~22:00关键区附近形成了剧烈的强对流天气。分析安康站20:00探空资料发现, 0°C 层维持在 4185 m 上下,也就是600 hPa附近, -20°C 层高度在 7192 m 左右,即400 hPa附近,有利于生成冰雹^[10]。

从5月7日商州站地面气象自动站各要素随时间的变化曲线(图6)可看出,16:00~17:00商州温度迅速降低,达8.5℃左右,气压升高达5.5 hPa;地面风向在18:00~19:00由东南风逆转为西北风,08:00~19:00风速由0.4 m/s增至

6.8 m/s,此后在20:00迅速减小为2.3 m/s,地面冷锋过境。08:00~18:00商州站东南风速增大,同时气压急剧减少,容易形成强的辐合中心,也为强对流的生成和发展创造了有利条件。

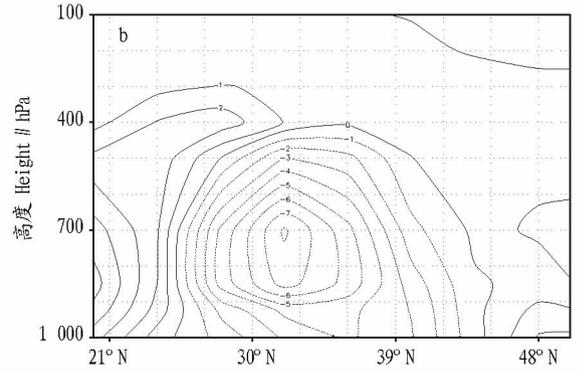
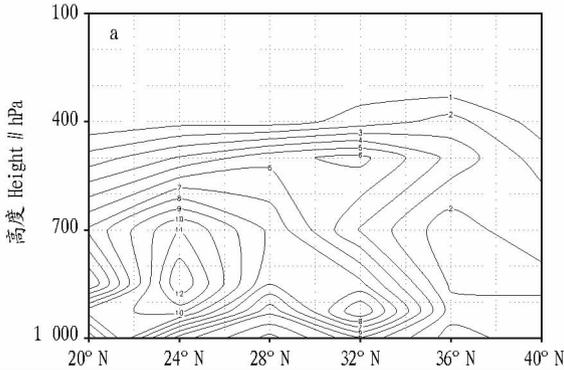


图5 2015年5月7日08:00(a)和20:00(b)沿110°E的水汽通量散度剖面[单位: $10^{-9} \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$]

Fig.5 The moisture flux divergence along 110°E at 08:00(a) and 20:00(b) on May 7 2015

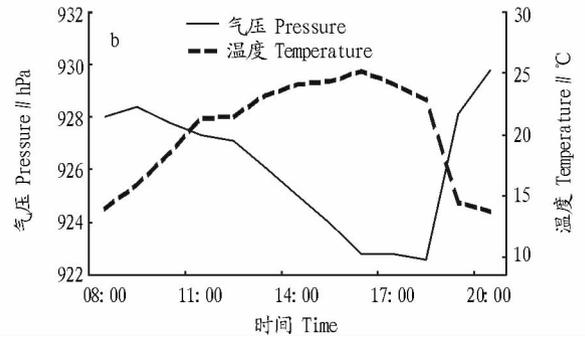
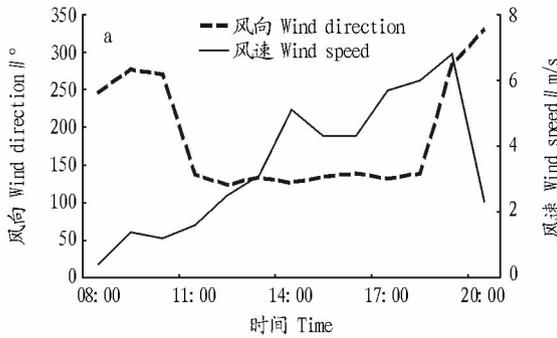


图6 2015年5月7日商州站风向、风速(a)以及气压、温度(b)随时间变化

Fig.6 The change of wind direction, wind speed(a) and pressure, temperature(b) with time in Shangzhou Station on May 7, 2015

3.4 能量条件

3.4.1 地面能量比。7日08:00(图7a),关键区位于河套冷锋前,能量比分布呈现北低南高的形势,能量比为65℃/hPa;11:00(图7b),关键区南部的低压倒槽向北推进,四川到陕西南部的水汽通道迅速建立,能量迅速积聚,能量比为90℃/hPa,是对流生成和发展的触发机制之一。14:00(图7c),河套冷锋继续南下,四川东部低压倒槽北进,在关键区附近的能量比梯度迅速加大,发展成一个明显的高能比轴,且形成倒“Ω”系统,空间尺度在200~300 km,此时能量比增加至95℃/hPa。17:00,在地面图上冷锋和倒槽位于33°~34°N,关键区附近为露点温度的梯度密集区,高温高湿的环境有利于能量的堆积,关键区的能量比继续增大至100℃/hPa(图7d),强降水、冰雹、大风即将开始。20:00,能量比迅速降至70℃/hPa以下,降水逐渐减弱。可见,地面能量比可以提前揭示强对流天气的发生和结束^[11]。

3.4.2 不稳定能量。7日08:00和20:00关键区 $T_{850-500} \geq 27$ ℃(图8),相当于温度直减率 ≥ 6.75 ℃/km,这个温度直减率大于对流层内平均气温直减率(6.00℃/km),如此强的垂直温度梯度与地面的倒槽、切变线辐合系统相互配合,是强对流天气的有利条件^[12]。

4 卫星云图分析

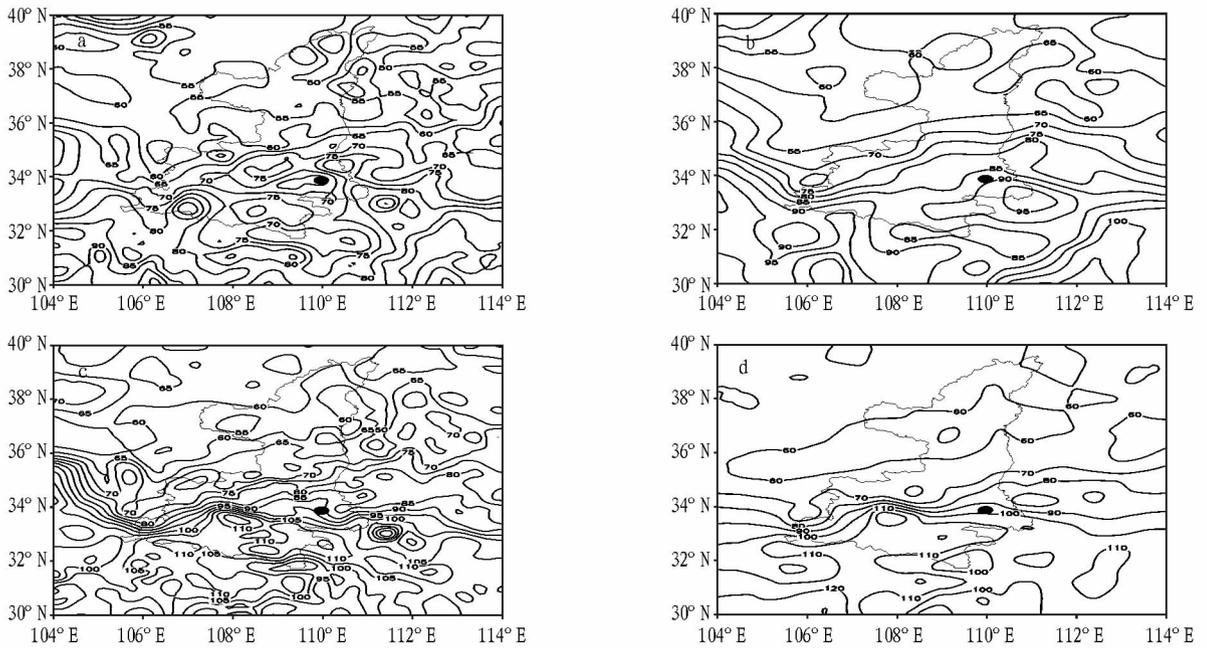
分析每小时一次的FY-2E TBB资料可见,5月7日10:00开始有孤立的对流单体发展,TBB约为-20℃,在甘肃到陕北为东西向大尺度的冷锋云系,随着冷锋云系的南压,12:00前后,陕西中部上空的对流单体与北部的冷锋云系合成一体,冷云面积增大,冷中心TBB最小为-40℃,但此时还没有出现较强降水。此后,冷云继续东移南压,19:00发展到最强盛(图9a),陕西中南部出现2个中β尺度的云团。β云团正好为关键区上空,云团结构紧密,冷中心TBB约为-60℃,云团东南侧TBB梯度明显加大,在梯度大值区附近出现50.6 mm/h的强降水,且出现冰雹和20.2 m/s的短时大风。20:00(图9b),2个中β尺度云团合并成一个较大的椭圆状的对流云团,长轴增长为600 km左右,中心维持在-60℃,关键区附近出现90.5 mm/h的降水,此后云团东移,关键区TBB增大,对流逐渐减弱。

5 多普勒雷达回波分析

从图10可以看出,此次过程是一个多单体强风暴过程,在这些多单体中有2个伸展高度较高的中β尺度的对流单体,中心回波>60 dBz,其低层入流来自东南方向。1.5°反射率因子(图10b)显示,以“+”标注为参考,风暴的高反射率

因子区从低到高向入流一侧倾斜,反映出低层弱回波区和高层的悬垂回波结构,且风暴顶位于低层反射率因子高梯度区之上。相应的反射率因子垂直剖面(图 10e)也再次证明了风

暴低层的弱回波区和高层的悬垂回波结构;商州站 45 dBz 强度的回波延伸至 9 km 以上高度;商州站中层强回波中心与低层位移达 1.5 km 左右,预示了降冰雹的潜势^[13]。



注: a. 08:00; b. 11:00; c. 14:00; d. 17:00. 黑色●为关键区。
 Note: a. 08:00; b. 11:00; c. 14:00; d. 17:00. Black ● is key region.

图 7 2015 年 5 月 7 日陕西周边地面能量比

Fig. 7 The surface energy ratio around Shaanxi on May 7, 2015

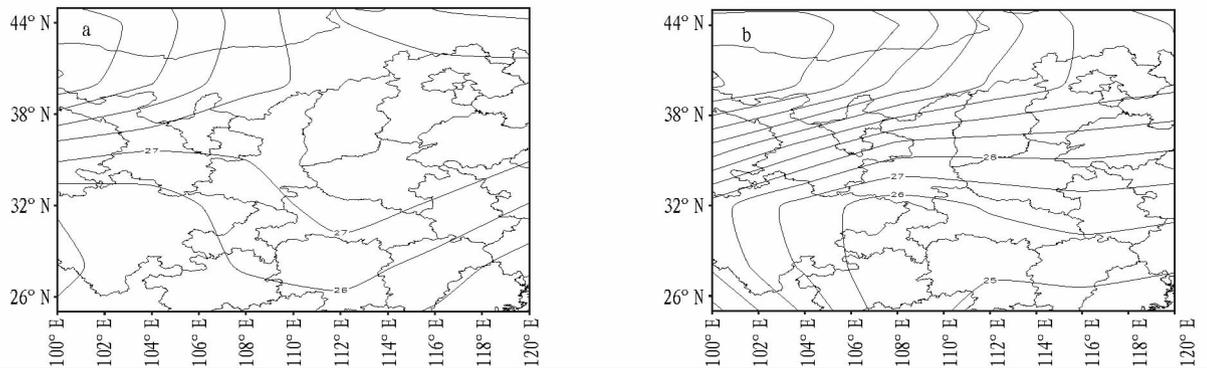


图 8 2015 年 5 月 7 日 08:00(a)和 20:00(b)陕西及周边 $T_{850-500}$ (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 8 $T_{850-500}$ in Shaanxi and its surrounding area at 08:00(a) and 20:00(b) on May 7, 2015

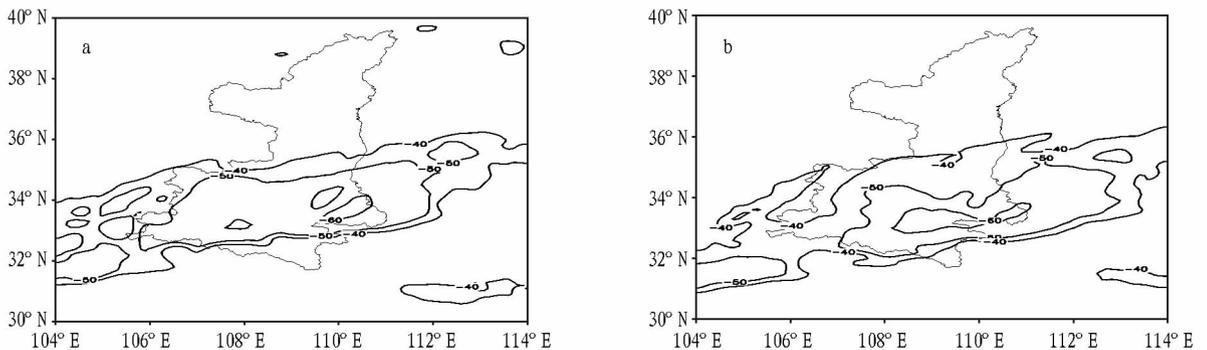
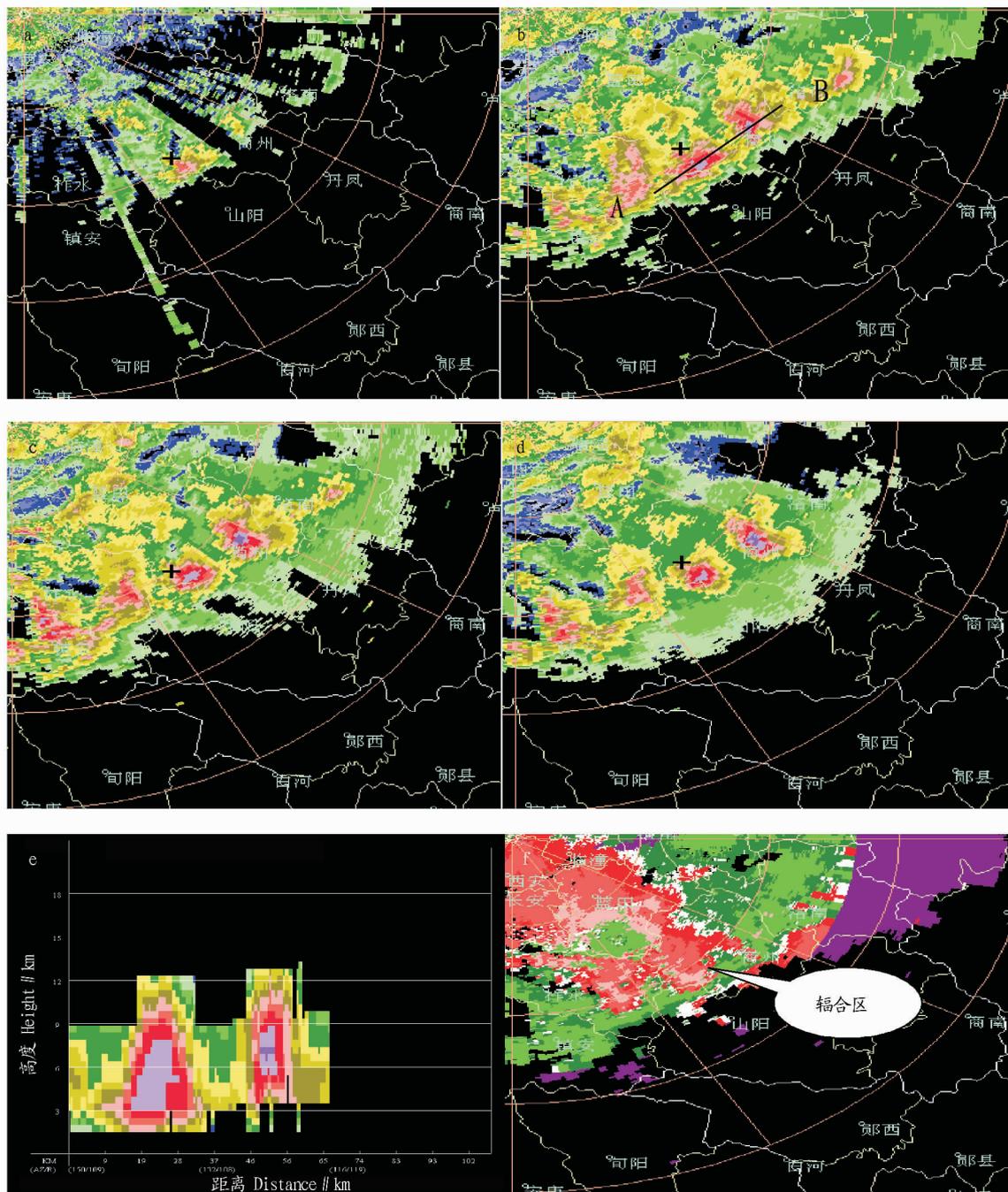


图 9 2015 年 5 月 7 日 19:00(a)和 20:00(b)陕西周边 TBB

Fig. 9 The TBB around Shaanxi at 19:00(a) and 20:00(b) on May 7, 2015



注: a~d 分别为 0.5°、1.5°、2.4°、3.4° 雷达反射率因子; e 为沿图 10b 中 AB 线的反射率因子垂直剖面; f 为 0.5° 雷达径向速度。
 Note: a - d. 0.5°, 1.5°, 2.4°, 3.4° radar reflectivity factor; e is reflectivity factor vertical profile along AB line in figure 10b; f. 0.5° radar radial velocity.

图 10 2015 年 5 月 7 日商州站降雹时雷达特征

Fig. 10 The radar features during the shooting hail in Shangzhou Station on May 7, 2015

分析 VIL 发现,商州站 VIL 达 50 kg/m²。低层 0.5° 径向速度图上(图 10f),关键区附近的大风超过 14 m/s。在强回波区出现气旋式辐合区,这也很可能是关键区附近形成短时大风的原因之一。

6 结论与讨论

(1) 这次冰雹天气在大尺度和中尺度系统的共同作用下产生,此次强对流天气过程是在冷锋向河套地区东移过程中发生的,200、700 hPa 高低空急流共同作用,500 hPa 中高纬度冷槽强盛,地面冷锋从河套西北方向南下携带大范围冷空

气进入陕西省,引发了此次致灾对流过程。

(2) 地面综合分析发现,典型的冷锋南压与河套倒槽相遇,形成明显的锋区。冷暖空气在关中南部相遇,在 33° ~ 35° N 风场上出现偏北风与西南风的强辐合区。露点温度与温度场分布呈现北干南湿、干冷暖湿中心基本重合的特点。冷暖空气的过渡区可导致强烈的对流风暴。

(3) 动力场分析可见,对流出现前后,关键区位于 200 hPa 高空急流入口区右侧、700 hPa 低空急流出口区左侧,
 (下转第 245 页)

- [5] 冯文丽,杨美. 天气指数保险:我国农业巨灾风险管理工具创新[J]. 金融与经济,2011(6):92-95.
- [6] 王文芳. 我国洪水指数保险的指数设计研究[D]. 长沙:湖南大学,2012.
- [7] 孙朋. 农业气象指数保险产品的设计研究:以山东省冬小麦干旱指数保险为例[D]. 泰安:山东农业大学,2012.
- [8] HARO W G H. A new proposal for federal crop insurance[J]. *Illinois agricultural economics*, 1978, 18(18):20-29.
- [9] ZHANG L S. Assessing the demand for weather index insurance in Shandong Province, China[D]. Lexington, Kentucky: University of Kentucky, 2008.
- [10] HOFMAN D, BRUKOFF P. Policy development and review department insuring public finances against natural disasters—A survey of options and recent initiatives[R]. IMF Working Paper, 2006.
- [11] BRYLA E, SYROKA J. Developing index-based insurance for agriculture in developing countries[R]. Sustainable Development Innovation Brief, 2007.
- [12] 曹雪琴. 农业保险产品创新和气象指数保险的应用:印度实践评析与借鉴[J]. 上海保险,2008(8):53-58.
- [13] 陈盛伟. 农业气象指数保险在发展中国家中的应用及在我国的探索[J]. 保险研究,2010(3):82-88.
- [14] 庾国柱,李军. 农业保险[M]. 北京:中国人民大学出版社,2005.
- [15] 张峭. 农业自然灾害风险管理工具创新研究[C]//HUANG C F, LIU X L. Theory and practice of risk analysis and crisis response the prospecting 3rd annual meeting of risk analysis council of China. Paris: Atlantis Press, 2008.
- [16] Che Mohd Imran Che Taib, Fred Espen Benth. Pricing of temperature index insurance[J]. *Review of development finance*, 2012, 2(1):22-31.
- [17] 谈丰. 龙岩市烟叶气象灾害风险评价与区划[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2014,6(2):144-151.
- [18] 姜伟平,吴利红,姚益平. 水稻暴雨灾害保险气象理赔指数设计[J]. 中国农业科学,2010,43(3):632-639.
- [19] 姜伟平. 茶叶霜冻气象指数保险设计[J]. 自然资源学报,2011,26(12):2050-2060.
- [20] 杨天明. 安徽省冬小麦种植保险天气指数设计与应用[Z]. 南京:中国

气象学会,2013.

- [21] 杨天明,孙喜波,刘布春,等. 安徽省水稻高温热害保险天气指数模型设计[J]. 中国农业气象,2015(2):220-226.
- [22] JERRY S. Can financial markets be tapped to help poor people cope with weather risks? [R]. Washington D. C. The World Bank Policy Research Working Paper No. 2812, 2002.
- [23] 张惠茹. 指数保险合同:农业保险创新探析[J]. 中央财经大学学报,2008(11):49-53.
- [24] 周军伟,董放,陈盛伟. 低温冻害气象指数保险研究综述[J]. 山东农业大学学报(社会科学版),2014(1):73-78.
- [25] 徐思云. 国外农业天气风险管理金融创新产品实践及经验启示[J]. 世界农业,2014(9):25-29.
- [26] 李秀香,章萌. 积极应对农业气候危机[J]. 探索与争鸣,2012(2):43-56.
- [27] 程静. 农业旱灾风险管理的金融创新路径:天气指数保险[J]. 世界农业,2013(3):60-64.
- [28] 黄玉娟,王传慧. 对推动我国气象指数保险发展的几点思考[J]. 中外企业文化,2014(2):94-95.
- [29] 庾国柱. 中国农业保险的制度选择[J]. 中国保险,2014(8):12-21.
- [30] 赵建东. 农业保险及其新进展研究综述[J]. 皖西学院学报,2011(4):74-77.
- [31] 庾国柱. 论中国及世界农业保险产品创新和服务创新趋势及其约束[J]. 中国保险,2014(2):14-21.
- [32] 李秀香. 尽快建立农业气候指数保险制度[J]. 探索与争鸣,2013(12):74-76.
- [33] 董玉凤. 我国现有政策性农业保险财政补贴政策缺陷及完善对策探讨[J]. 中小企业管理与科技,2010(36):267-268.
- [34] 高蓉蓉. 农业保险发展的新趋势:指数保险的产生及其在中国的实践[J]. 江苏科技信息,2014(23):34-36.
- [35] 武翔宇,兰庆高. 促进我国气象指数保险发展的若干建议[J]. 农业经济,2012(3):94-95.
- [36] 谈琰,夏元燕. 河南省农业保险问题及对策探析[J]. 管理学家,2012(2):754-755.
- [37] 郑硕,张亚楠,杜乃涛. 农业气象指数保险费率的厘定方法及实证探究:以河南省为例[J]. 金融经济(理论版),2014(10):102-105.

(上接第 226 页)

高空辐散、低空辐合,抽气作用明显,上升运动得到强烈发展,为短时强降水的产生提供了有利的条件。

(4)通过每小时一次的 FY-2E TBB 资料分析,可以清晰地反映出中尺度系统的发生和发展过程。强对流天气落区多发生在云团 TBB 迅速加强、梯度密集的区域,这对于强对流天气有较好的指示作用。

(5)此次冰雹天气发展过程中形成了明显低层弱回波区和中高层的悬垂回波结构,中层强回波中心与低层位移达 1.5 km 左右,预示了降冰雹的潜势。45 dBz 强度的回波延伸至 9 km 以上,这些指标对准确做出强对流天气预警有较好的指示意义。

(6)地面能量比是对流生成和发展的触发机制之一,7 日 17:00 在地面图上冷锋和倒槽位于 33°~34°N,关键区附近为露点温度的梯度密集区,高温高湿的环境有利于能量的堆积,关键区的能量比继续增大至 100 °C/hPa,强降水、冰雹、大风即将开始;20:00 能量比迅速降至 70 °C/hPa 以下,降水逐渐减弱。可见,地面能量比可以提前揭示强对流天气的发生和结束,常规天气图不易分析出来,该方法是一个有效的分析工具。

参考文献

- [1] DONALDSON R J. Vortex signature recognition by a Doppler radar[J]. *Appl Meteorol*, 1970, 9(4):661-670.
- [2] FUJITA T T. Analytical mesometeorology: A review[J]. *Meteor Monogr*, 1963, 5(27):77-125.
- [3] KROPFLI R A, MILLER L J. Kinematic structure and flux quantities in a convective storm from dual-Doppler radar observations[J]. *J Atmos Sci*, 1976, 33(3):520-529.
- [4] LEMON R L, DOSWELL C A. Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis[J]. *Monthly weather review*, 1979, 107(9):1184-1197.
- [5] HOUZE R A, RUTLEDGE S A, BIGGERSTAFF M I, et al. Interpretation of Doppler weather radar display in midlatitude mesoscale convective system[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1989, 70(6):608-619.
- [6] 井宇,陈闯,陈宁,等. 陕北北部一次雹暴的特征及成因[J]. 陕西气象, 2013(4):6-11.
- [7] 罗慧,刘勇,冯桂力,等. 陕西中部一次超强雷暴天气的中尺度特征及成因分析[J]. 高原气象,2009,28(4):816-826.
- [8] 许新田,刘瑞芳,郭大梅,等. 陕西一次持续性强对流天气过程的成因分析[J]. 高原气象,2010,30(1):226-234.
- [9] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2003:401-411.
- [10] 张霞,周建群,申永辰,等. 一次强冰雹过程的物理机制分析[J]. 气象, 2006, 31(4):15-17.
- [11] 马鹤年. 次天气尺度 Ω 系统和暴雨落区[C]//暴雨文集编委会. 暴雨文集. 长春:吉林人民出版社,1978:171-176.
- [12] 杜继稳. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [13] LEMON L R. On the use of storm structure for hail identification[J]. *Amer Meteor Soc*, 1978, 5:203-206.