

三门峡“07.13”短时强降水形成机制及预报难点分析

吕作俊 (河南省三门峡市气象局, 河南三门峡 472000)

摘要 利用单站气象要素逐小时资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料以及MICAPS常规资料,从过程实况、大尺度环流背景、物理量等方面,对2012年7月13日20:00~14日00:00发生在三门峡市区及附近的短时局地强降水过程的形成机制及预报难点进行了详细分析。结果表明,这次短时强降水是在有利的大尺度环流背景下产生的,整个过程冷空气活动均非常活跃;三门峡站气象要素演变对降水开始具有较好的指示意义;过程的水汽条件及动力条件在降水开始前6h左右仍然不利于产生降水,直到降水开始前2h左右才逐渐转化为有利条件。过程预报中存在气象参考资料时空分辨率不足以及水汽条件与当地暴雨预报指标不一致两大难点,业务中需要在不断完善当地暴雨预报指标的基础上,着重从短时临近角度进行分析预报。

关键词 短时强降水;形成机制;预报难点;冷平流

中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)21-166-06

Analysis on Formation Mechanism and Forecast Difficulty of the Short-time Strong Rainfall Occurred in Sanmenxia on 13 July

LU Zuo-jun (Sanmenxia Meteorological Administration, Sanmenxia, Henan 472000)

Abstract Based on the single station meteorological hourly data, NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data and MICAPS data, from aspects of process, large scale circulation background, physical quantity, the formation mechanism and forecasting difficulties of the short-time strong precipitation process was analyzed in detail, which occurred in Sanmenxia City and the nearby local from 20:00 13 July to 00:00 14 July, 2012. The results showed that the short-time strong rainfall generated in the favorable large scale circulation background, the cold air activities during the whole process were very active; the Sanmenxia meteorological elements evolution had a good indication to precipitation; water vapor conditions and dynamic conditions won't still conducive to produce precipitation on 6 hours before precipitation in the precipitation process, until 2 hours before the rainfall it gradually transformed into favorable conditions. Two difficulties of forecasting were low time and space resolution of the meteorological reference information and difference of water vapor conditions and local rainstorm forecast indicators, analysis and forecast were conducted mainly from the angle of nowcasting, based on continuous improvement of the local rainstorm forecast index.

Key words Short-time strong precipitation; Formation mechanism; Forecast difficulty; Cold advection

短时强降水是一种具有突发性、局地性和致灾性特征的强对流天气,常引发山洪、城市积涝、泥石流和山体滑坡等地质灾害,给人民生命财产带来巨大损失,因其致灾性强、预报难度较大,成为近年来灾害性天气研究的重要内容之一。许多气象工作者分别从不同方面对其开展了大量研究,并取得一定的研究成果^[1-5],如纪晓玲等^[1]利用多种资料对宁夏北部一次短时暴雨的中尺度对流系统特征分析发现,此次短时暴雨是在有利环流背景下由2个对流单体先后影响而后合并维持造成的,闪电发生频率对降水有明显的指示意义;慕建利等^[6]利用T213常规资料及地面加密观测资料,分析了发生在陕西关中的一次短历时强暴雨的水汽条件,结果发现,关中强暴雨水汽来源于周围的高湿区,暴雨区上空水汽浅薄,东西向水汽辐合是暴雨区水汽的主要来源;许爱华等^[7]通过对我国南方梅雨期间发生的强降水过程进行分析,提出了有利于该类强降水的预报着眼点及暴雨落区判断依据。

三门峡是河南省防汛重点区域,为山地及丘陵地形,下垫面复杂,是短时强降水的多发地区,经常造成严重灾害,如2010年7月23~24日三门峡市出现罕见强降水过程,引发了山洪、泥石流、山体滑坡以及城市积涝,造成直接经济损失12.96亿元,死亡失踪人口4人。因此,加强对三门峡市强降水形成机制及预报技术研究,减小此类气象灾害的影响,具有十分重要的意义。2012年7月13日20:00~14日00:00

三门峡市区及其附近地带出现了强烈的短时强降水天气。由于降水集中在市中心并产生了严重灾害,当日短期天气预报中又未能预报出来,因而在社会大众与政府部门中产生了一些不利影响。笔者利用单站气象要素逐小时资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料以及MICAPS常规资料,从过程实况、大气环流背景、物理量等方面对这次过程进行详细分析,找出此次过程的形成机制,并总结预报难点,以期三门峡市短时强降水天气的预报技术提供经验和指标,从而减少这类失误的发生。

1 过程实况分析

1.1 降水与灾情 7月13日20:00~14日00:00三门峡市出现了少见的以市区为降水中心的短时强降水天气。此次强降水的中心主要集中在三门峡市区及陕县中部地区(图1),共有8个自动站降水量超过50.0 mm,最大降水量为80.5 mm,出现在湖滨区磁钟站,而市观测站降水量为75.8 mm。降水主要出现在13日20:00之后,到14日00:00降水已经结束,降水集中时段为20:00~21:00、21:00~22:00,小时降水量分别达26.8和39.4 mm(图2)。据民政部门统计,此次灾害共造成湖滨区70户246口人不同程度受灾,城市道路及街道排洪排污管道被冲毁、坍塌,直接经济损失达850万元,庆幸的是未造成人员伤亡。由此可见,“07.13”短时强降水具有明显的局地性、突发性和致灾性特点。在如此集中的区域内,2~3h就出现8个站点超过50.0 mm降水,在三门峡市实属少见,预报难度比较大。

1.2 单站气象要素演变 此次降水过程发生在市区,市观测站恰好位于暴雨的中心位置,分析市观测站从降水开始前

基金项目 气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2014M33)。

作者简介 吕作俊(1981-),男,河南信阳人,工程师,硕士,从事短期与短时临近预报技术研究。

收稿日期 2016-06-12

6 h 到结束后 3 h 内气象要素的演变特征(图 2)发现,13 日 14:00 三门峡站平均气温为 29.2 °C,随着时间推移,温度正常小幅度减小,至 20:00 温度减小至 26.0 °C,平均减小幅度为 0.5 °C/h;到 21:00,温度突然下降至 21.8 °C,1 h 下降幅

度达 4.2 °C,对应降水量分布图,则降水恰好开始;而后温度一直保持在 21.2 ~ 21.8 °C,并有极小幅度的升降。由此可见,地面冷空气侵入,激发了不稳定能量释放,在有利的背景条件下产生了这次短时强降水。

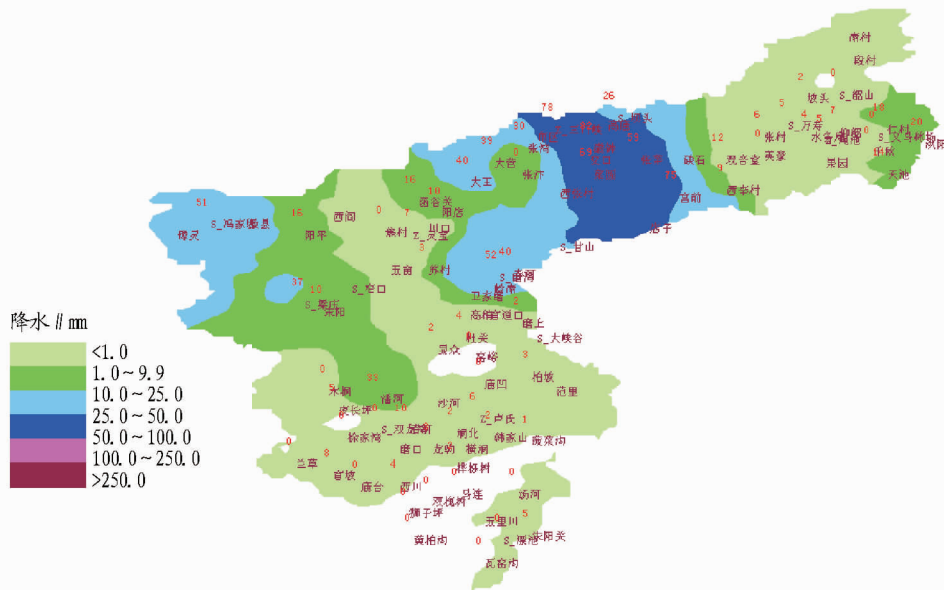
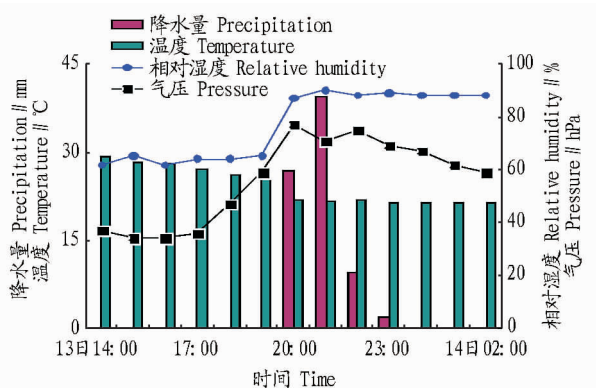


图 1 2012 年 7 月 13 日 14:00 ~ 14 日 02:00 三门峡降水量分布

Fig.1 The precipitation distribution in Sanmenxia City during 14:00, 13 July -02:00, 14 July 2012



注:为了绘图方便,气压值截取了实际值的个位与小数点后 1 位数值并放大 10 倍,实际气压数值的百位与十位分别为 9 和 5。

Note: In order to facilitate drawing, the unit and one digit after decimal point of actual value was intercepted and magnified 10 times as pressure value, hundred and ten point of actual pressure value is 9 and 5.

图 2 2012 年 7 月 13 日 14:00 ~ 14 日 02:00 三门峡本站各气象要素时间演变

Fig.2 The time evolution of meteorological elements in Sanmenxia Station during 14:00, 13 July -02:00, 14 July 2012

从三门峡站相对湿度(图 2)在降水前后的演变特征可以看出,降水开始前的 6 h 内,本站相对湿度均不大,一直维持在 62% ~ 65%。而 13 日 20:00 后,相对湿度突然增大至 87%, 21:00 达最大(90%),而后相对湿度基本维持在 88%。可见,强降水开始前,当地湿度一直不大,而降水开始时相对湿度有一次跳跃性升高,降水开始后,相对湿度维持较大值很少变化。

分析三门峡站地面气压(图 2)变化可知,13 日 14:00 ~ 18:00 该站气压变化不大,一直维持在 953.4 ~ 953.7 hPa,从 18:00 开始,气压开始明显增大,到 19:00 增大至 954.7 hPa, 1 h 内正变压为 1.1 hPa,而 20:00、21:00 的小时正变压分别为 1.2、1.8 hPa;22:00 气压略有下降,到 23:00 气压又出现略升。直至 14 日 00:00 以后,气压才稳步下降。由此可知,降水前气压升高,说明地面有冷空气,正变压大小表现了冷空气的强弱,对应降水实况则为更大的降水量。这也从另外一个角度说明冷空气是这次强降水发生的重要原因。

2 大尺度环流背景分析

分析发现,这次短时强降水是在有利的大尺度背景下产生的。13 日 14:00 500 hPa(图 3a),欧亚大陆中高纬度为三低一高型,我国东北地区东部、贝加尔湖西北部以及巴尔喀什湖东部分别有一个低值中心,贝加尔湖南部一直到我国新疆东部地区为一高压(简称贝湖高压,下同)控制,高压脊呈东北—西南走向,位于贝加尔湖西北部的低值系统与贝湖高压反位相叠加;40° ~ 45°N、110° ~ 115°E 区域内有一东西向横槽,有利于冷空气堆积,未来将沿贝湖高压前部西北气流南压转竖;三门峡处在横槽前部的西北气流里。到 20:00(图 3b),环流形势已经发生明显变化;东西 2 个低值中心稳定维持,贝加尔湖西北部的低值系统已经东移至贝加尔湖东北部;而贝加尔湖南部的贝湖高压中心强度明显增加,已由 6 h 前的 5 824 gpm 增加至 5 832 gpm,并进一步向东伸展,其东部等压线变得更加密集;环流形势的这种调整,更有利于高压前西北气流携带冷空气在横槽内聚积;此时横槽位置没有变化,但强度加强,横槽内出现闭合等值线,说明有冷空气在

此强烈堆积。14日02:00(图3c),此时降水已经结束,贝湖高压明显减弱,中心强度仅有5 816 gpm,横槽已转竖,冷空气已经侵袭,而正是在冷空气大举向南暴发的阶段出现了强降水。由于冷空气很强,向南暴发速度快,所以降水强度激烈,持续时间很短。分析700和850 hPa的环流形势,也有与之类似的结论。

分析此次冷空气堆积及暴发的原因可知,13日14:00(图3a),高压顶部温度槽落后于低压槽,有冷平流,而贝湖高压增强,南高北低系统反位相叠加,则有利于冷空气沿西北气流加速南下在横槽内聚积。20:00(图3b),随着贝加尔湖西北部低槽东移,高压后部开始转为暖平流,暗示横槽即将转竖。14日02:00,暖平流已侵入到横槽内,阻高大幅度

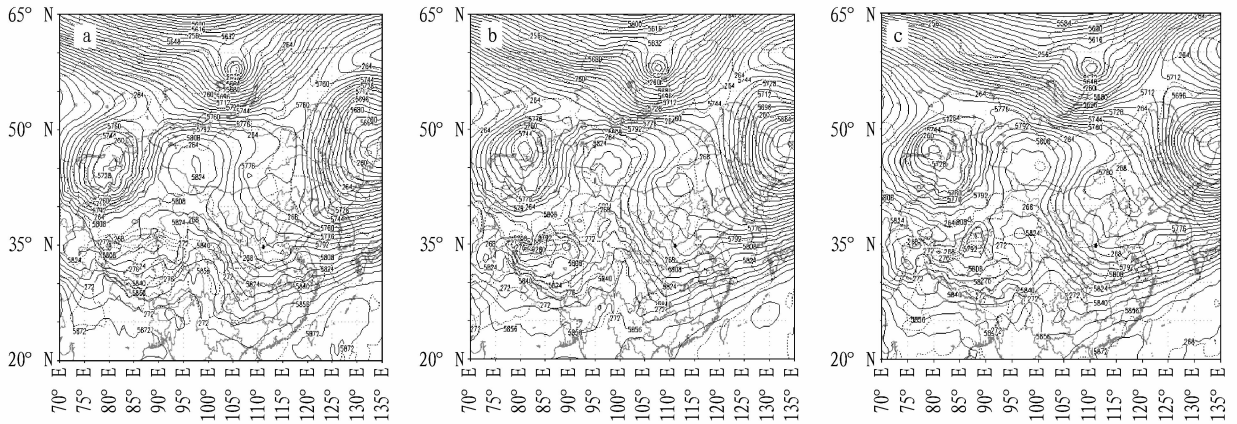


图3 2012年7月13日14:00(a)、20:00(b)和14日02:00(c)500 hPa位势高度线(单位:gpm)和等温线(单位:K)

Fig. 3 The geopotential height line and isotherm at 500hPa at 14:00 BT (a), 20:00 BT (b) on 13 July and 02:00 BT (c) on 14 July 2012

减弱,横槽转竖,冷空气向南侵入。

从降水区(34°~35°N,111°~111.5°E)上空冷平流演变形势看,13日14:00,该区上空等位势高度线与等温线有明显交角,说明存在弱的冷平流(图3a);到20:00,等位势高度线与等温线接近垂直,冷平流明显增强(图3b);到14日02:00,强冷平流已经影响到河南南部地区,降水区后部无冷暖平流(图3c),说明冷空气对降水区的影响已经结束,降水停止。

强降水开始前的6 h内(图4a、b),降水区(111°~111.5°E)相对湿度并不大,尤其是900 hPa以下,相对湿度<80%,这与当地系统性降水过程中相对湿度一般均在90%以上的情況完全不符;在强降水发生之前,900~350 hPa相对湿度略有增加,但变化不大;直到降水结束后,14日02:00相对湿度才明显增加,>80%的相对湿度向下伸展至1 000 hPa以下,而此时地面已经产生了降水,但整层相对湿度均在70%~90%,>90%的层次很少(图4c)。由此可见,产生短时强降水的水汽条件中,相对湿度在70%以上就可以发生,这与当地气象台站总结的暴雨预报指标之一相对湿度>80%是不一致的,说明当地的暴雨预报指标还有待于进一步完善。

3 物理量分析

3.1 水汽条件分析

3.1.1 相对湿度。分析这次过程的相对湿度变化发现,在

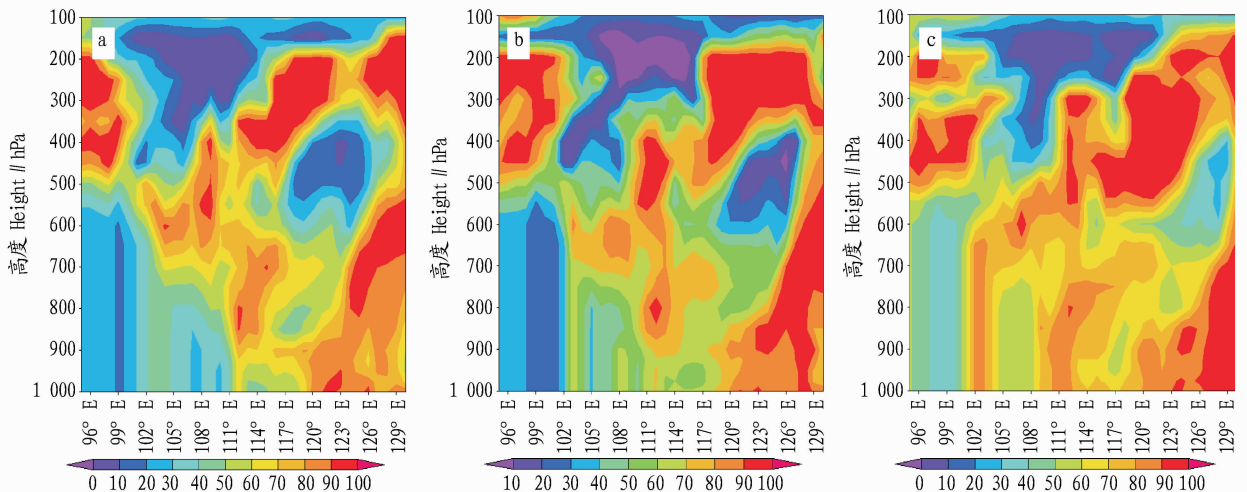


图4 2012年7月13日14:00(a)、20:00(b)和14日02:00(c)沿35°N相对湿度经向垂直剖面

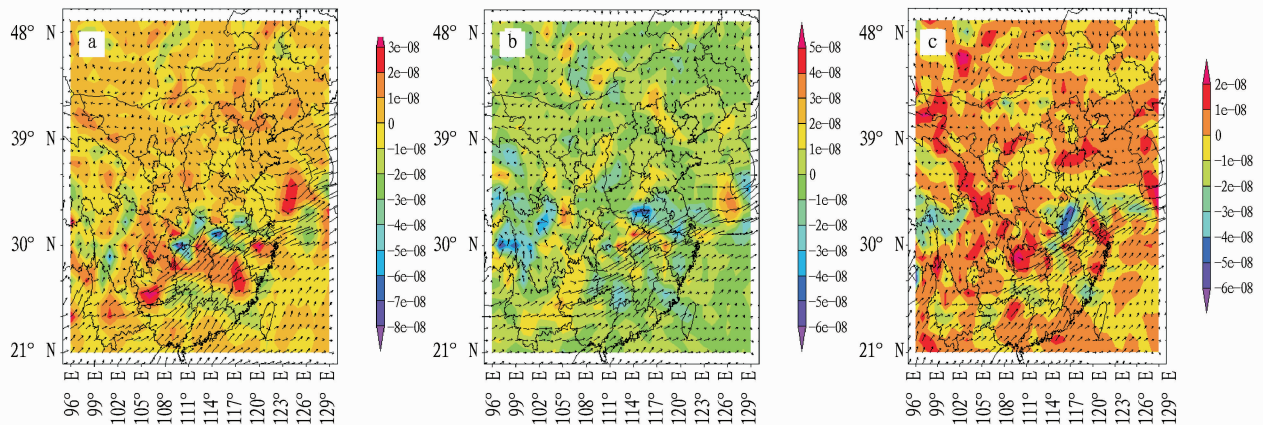
Fig. 4 The vertical section of relative humidity along 35°N at 14:00 BT (a), 20:00 BT (b) on 13 July and 02:00 BT (c) on 14 July 2012

3.1.2 水汽通量及其散度。从图5可以看出,13日14:00,降水区及其周围均为正的水汽通量散度,水汽通量值很小,

说明此时降水区上空有弱的水汽辐散,水汽输送非常弱。到20:00,降水区及其周围开始出现负的水汽通量散度,在山西

南部到陕西关中一带出现了一个负的大值中心,表明此时降水区上空已经开始出现水汽辐合,降水区出现在水汽辐合中心的南边界;而从水汽输送来看,降水区水汽来源有 2 个部分,一个是由位于陕西中北部到甘肃东部的水汽辐散中心向东南辐散出的水汽,图中表现为西北向的水汽通量,另一个

为山东与河南交界处的辐散中心向西辐散出的水汽,图中表现为东北向水汽通量。降水区就是出现在这两股水汽通量的辐合地带,但水汽通量很小,辐合强度也比较低,没有较强的暖湿空气输送。这也与当地气象台站总结的暴雨预报指标(强西南暖湿气流)相矛盾。这可能就是这次过程影响



注:矢量表示水汽通量,单位是 $\text{kg}/(\text{hPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s})$;阴影区表示水汽通量散度,单位是 $\text{kg}/(\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

Note: Vector represents water vapor flux, the unit is $\text{kg}/(\text{hPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s})$; shadow area indicates water vapor flux divergence, the unit is $\text{kg}/(\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

图 5 2012 年 7 月 13 日 14:00 (a)、20:00 (b) 和 14 日 02:00 (c) 700 hPa 水汽通量及水汽通量散度

Fig. 5 The water vapor flux and divergence of water vapor flux at 700 hPa at 14:00 BT (a), 20:00 BT (b) on 13 July and 02:00 BT (c) on 14 July 2012

范围非常小、持续时间短的原因。

3.2 动力条件分析

3.2.1 垂直速度。13 日 14:00 (图 6a),降水区 ($111^\circ \sim 111.5^\circ\text{E}$) 上空基本维持弱的下沉运动,900 hPa 以下下沉运动最强;到 20:00 (图 6b),800 hPa 以下仍然维持下沉运动,800 ~ 300 hPa 为上升运动,300 hPa 以上为下沉运动。综合前述分析可知,在冷空气由高空向低层侵入的过程中,降水区上升运动越来越强,上升运动的厚度也越来越大。14 日

02:00 (图 6c),850 hPa 以下是上升运动,850 ~ 400 hPa 为下沉运动,400 hPa 以上则为上升运动。850 hPa 以上出现下沉运动,阻止了水汽进一步上升凝结,是降水结束的重要标志。由此可知,此次强降水过程在降水开始前 6 h 左右整层为弱的下沉运动,而在降水将要发生时降水区上空 800 ~ 300 hPa 才转为上升运动,上升运动厚度比较厚,运动速度逐渐增大,说明整个降水云层厚度也较厚,动力条件有利于产生短时强降水。而中层出现下沉运动,则意味着降水结束。

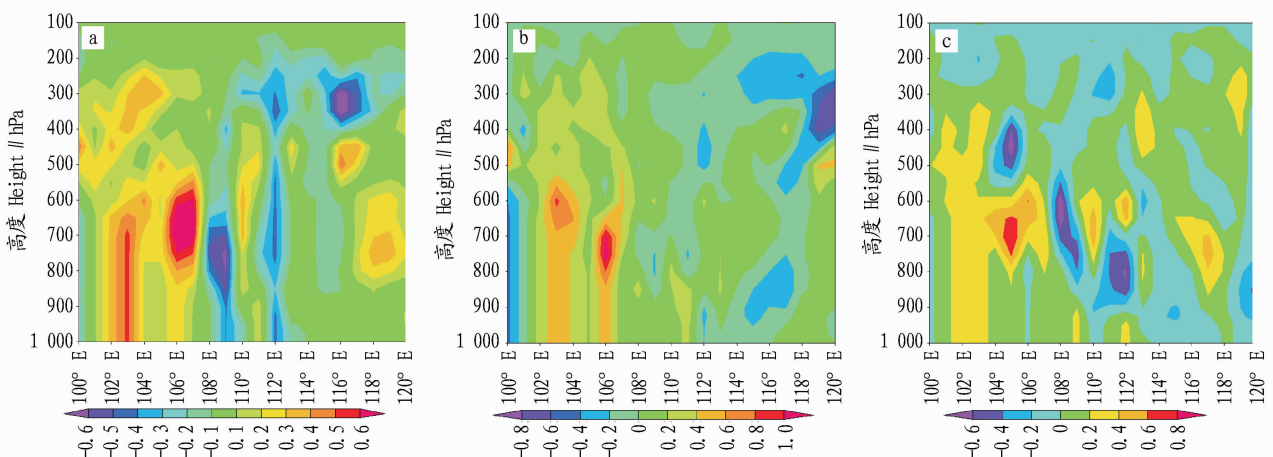


图 6 2012 年 7 月 13 日 14:00 (a)、20:00 (b) 和 14 日 02:00 (c) 沿 35°N 垂直速度经向垂直剖面(单位: hPa/s)

Fig. 6 The vertical section of vertical velocity along 35°N at 14:00 BT (a), 20:00 BT (b) on 13 July and 02:00 BT (c) on 14 July 2012

3.2.2 相对涡度。沿 35°N 计算各经度不同高度上的相对涡度大小(图 7)发现,13 日 14:00,降水区上空 500 hPa 以下高度均为负的相对涡度,对应着弱的下沉运动,500 hPa 以上高度为正的相对涡度。到 20:00,600 hPa 以下各高度负的相

对涡度值减小至 0,600 hPa 以上相对涡度均为正值,高空的正涡度中心向下伸展至 600 hPa 高度,说明降水区上空整层动力条件在向着有利于强降水发生的方向转化。到 14 日 02:00,降水区上空 500 hPa 以下高度均变为负的相对涡度,

说明500 hPa以下开始出现下沉运动,动力条件不利于降水发生,降水结束。由此可见,此次强降水过程开始前和降水结束后,500 hPa以下均为负的相对涡度,对应下沉运动,不

利于产生降水;而到降水即将开始时,500 hPa以上正涡度中心开始向下伸展至600 hPa,而原来600 hPa以下的负的涡度值已减小至0,向正的涡度转化,旋转上升运动加强,导致强

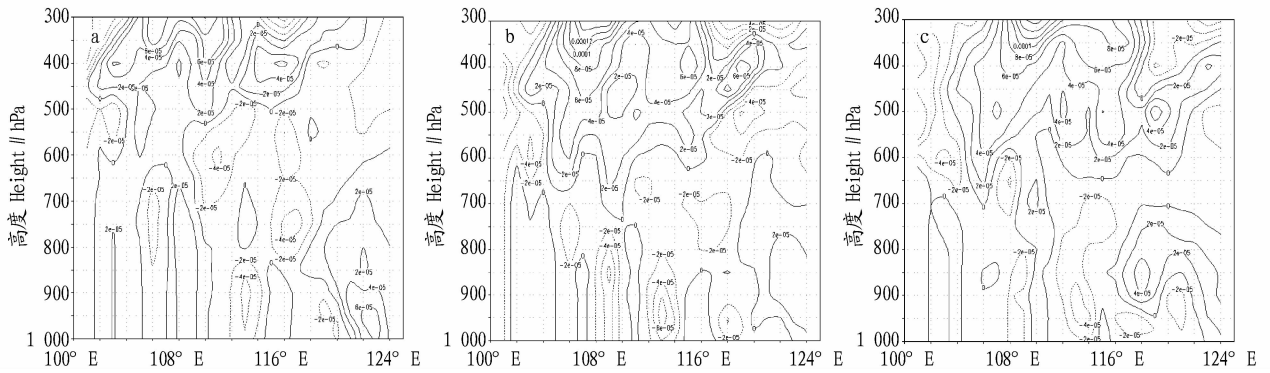


图7 2012年7月13日14:00(a)、20:00(b)和14日02:00(c)沿35°N相对涡度经向垂直剖面(单位: s^{-1})

Fig. 7 The vertical section of relative vorticity along 35°N at 14:00 BT (a), 20:00 BT (b) on 13 July and 02:00 BT (c) on 14 July 2012

降水的发生。

4 预报难点分析

通过上文分析可见,这次短时强降水过程是在有利的尺度环流条件下,逐渐转化为有利于降水发生的动力条件促使水汽在降水区辐合抬升而产生的。其主要特点为:①强降水开始前6 h,500 hPa南高北低形势建立并反位相叠加,高压开始增强,顶部出现冷平流,有利于冷空气在高压前部的横槽里堆积;但此时水汽条件及动力条件均不利于产生强降水。②13日20:00开始,500 hPa高压后部开始出现暖平流,意味着横槽转竖,而此时水汽已经开始在降水区辐合,动力条件开始向有利于强降水发生的方向发展。③此次强降水过程的水汽条件与当地气象台站总结的暴雨预报指标不一致。

尽管这次强降水过程具有如此明显的特点,然而在当日的预报业务中并未预报出来。经过对比分析发现,预报难点主要在于目前天气预报业务参考资料的时空分辨率不够,未

能及时显示上述天气特点。上述分析的结论是在6 h 1次的NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 高时空分辨率资料里分析得到的。而在日常预报分析业务中,常规高空观测资料及数值模式资料(T639、ECMWF等)时间分辨率为12 h(即每日08:00和20:00各一次),空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ (大约277 km \times 227 km),在分析如此小范围(大约50 km \times 30 km)的短时强降水过程时,资料的时空分辨率显然不够满足业务需求。

从13日08:00高空观测资料(图8a)可以看出,13日08:00,500 hPa上空三门峡市西南部有一低槽,700 hPa有一西北—东南向的切变线正在影响当地,850 hPa有一西北指向东南的相对湿度 $>70\%$ 的湿舌,而在925 hPa有个东北—西南向的显著流线指向当地。由中尺度分析结果,三门峡市在08:00前后应有一定强度的强对流天气出现,而实况显示,当日并未出现任何对流性天气,说明这些因素在当地的配置并不利于产生强对流天气。由ECMWF 13日20:00 24 h预报形势场(图8b)可见,13日20:00,500 hPa上空有一显著

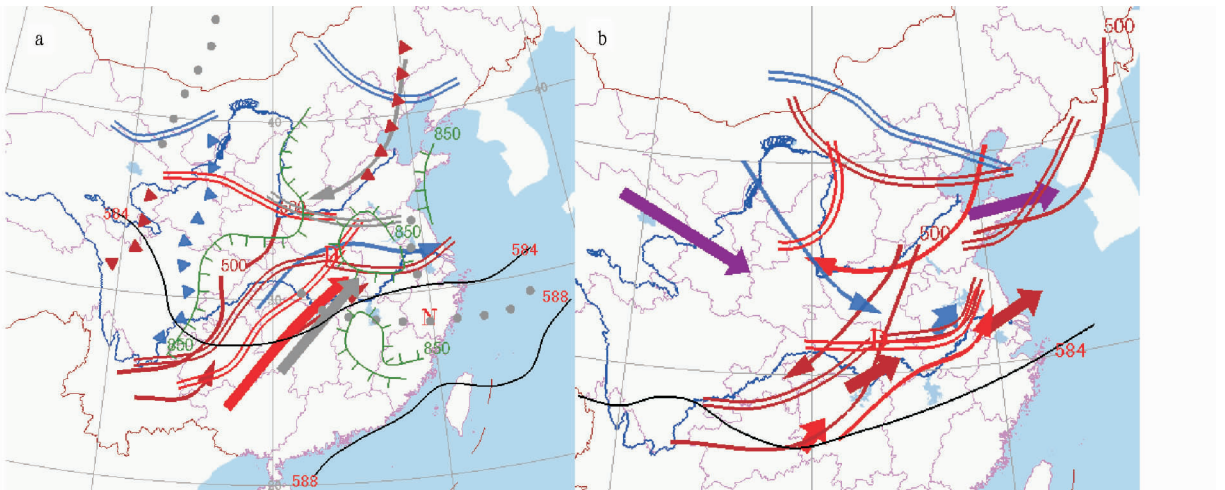


图8 2012年7月13日08:00高空实况(a)与ECMWF 12日20:00初始场预报13日20:00高空形势(b)

Fig. 8 High altitude observation at 08:00 on 13, July 2012 (a) and ECMWF high - altitude situation forecasted field at 20:00 on 13, July 2012 based on the initial field at 20:00 on 12, July 2012 (b)

流线从降水区西部经过,850 hPa 陕西与山西交界处有一接近南北向并向东突出的切变线,这种形势对三门峡市强天气的预报指示意义不大,主要是缺少相应的水汽条件及动力因子特征。由前文分析可知,这些因子在 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 资料里可以分析到,常规天气预报参考资料空间分辨率太大,从而平滑掉了这些弱的特征。因此,当日 15:00 在全省会商中,省市两级台站均未能预报出这次短时强降水。

另外,这次强降水过程的水汽条件与当地气象台站总结的暴雨预报指标不一致,整个降水过程相对湿度未超过 90%,低于当地暴雨预报指标。过程始末也无当地暴雨发生时必须的大范围水汽输送带、水汽源地以及强西南暖湿气流补充水汽等条件。这也是此次短时强降水过程难以预报准确的一个重要原因。

5 小结与讨论

该研究利用观测站记录的气象要素逐小时资料、NCEP 一日 4 次的 $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料,对 2012 年 7 月 13 日 20:00 ~ 14 日 00:00 发生在三门峡市区及其附近地区的短时强降水过程及预报难点进行了详细分析,得出以下结论:

(1) 三门峡市“07.13”短时强降水过程具有局地性、突发性和致灾性特点,三门峡站气象要素,如温度的突降、相对湿度的跳跃性升高以及地面正变压的明显增大等变化,对强降水开始具有较好的指示意义,其中气压变化的指示效果最好,具有提前性。

(2) 这次短时强降水是在中高纬度三低一高的有利形势下产生的。贝湖高压的增强与大幅度减弱,横槽的加深与转竖是这次过程的直接动因。高空南高北低的系统配置及反位相叠加加强了冷空气堆积及向南暴发的强度。降水区上空冷平流的发展演变与强降水开始与结束有很好的对应关系。

(3) 无论是地面温度与气压变化,还是高空冷平流的演变,均说明冷空气的侵入是这次强降水发生的重要激发

机制。

(4) 此次强降水过程的水汽来源于附近地区 2 个水汽辐散中心辐散出的水汽在降水区的辐合,没有大范围水汽输送带,也没有西南暖湿气流;而强降水发生前整层相对湿度均不大;水汽条件与当地暴雨预报指标不一致。

(5) 强降水开始前动力条件不利于产生降水,直到降水即将开始时,动力条件才逐渐向有利于产生降水的方向转化。动力条件显示,上升运动向上伸展的高度较高,说明云层较厚,有利于产生短时强降水。而中层出现下沉运动,则意味着降水结束。

(6) 此次短时强降水过程因持续时间短、影响范围小,所以预报难度较大,主要表现为:目前天气预报业务参考资料的时空分辨率不足,不能及时显示此次天气过程的特点;此次强降水过程的水汽条件与当地气象台站总结的暴雨预报指标不一致,水汽的输送及来源均与当地暴雨常规形势不同。应对这 2 个难点的方法是:首先业务中需要从短时临近角度,利用多普勒天气雷达、多要素站及自动站资料相结合来分析预报;其次需要在当地暴雨预报指标的基础上加强对此类短时强降水的认识和研究,完善暴雨预报指标,提高预报能力。

参考文献

- [1] 纪晓玲,冯建民,穆建华,等.宁夏北部一次短时暴雨中尺度对流系统的特征分析[J].大气科学学报,2010,33(6):711-718.
- [2] 王丽荣,刘黎平,王立荣,等.一次局地短时大暴雨的中- γ 尺度分析[J].高原气象,2011,30(1):217-225.
- [3] 王啸华,吴海英,唐红昇,等.2009年7月7日南京短时暴雨的中尺度特征分析[J].气象,2012,38(9):1060-1069.
- [4] 吴葵,范学峰,郑世林,等.台风外围偏东气流中的暴雨及其等熵位涡特征[J].高原气象,2008,27(3):584-595.
- [5] 杜小玲.2012年贵州暴雨的中尺度环境场分析及短期预报着眼点[J].气象,2013,39(7):861-873.
- [6] 慕建利,李泽椿,赵琳娜,等.“07.08”陕西关中短历时强暴雨水汽条件分析[J].高原气象,2012,31(4):1042-1052.
- [7] 许爱华,谌芸.中尺度天气图分析技术在 2011 年我国南方 4 次强降水过程中的应用[J].气象,2013,39(7):883-893.
- [8] 陈锐,李丽霞,张涛,等.略阳乌鸡屠宰性能及肉质性状研究[J].广东农业科学,2013(1):116-118.
- [9] 刘忠伟,裴占阳,陈伟,等.倒毛鸡生物学特性、屠宰性能及肉质性状研究[J].江苏农业科学,2015,43(1):202-205.
- [10] 李利,臧素敏,王鹏,等.太行鸡肌肉品质的分析[J].动物营养学报,2011,23(9):1592-1599.
- [11] 周光宏.肉品学[M].北京:中国农业科学技术出版社,1999:221-262.
- [12] 孙宏进,王根林.优质鸡肉质评价体系的研究进展[J].中国家禽,2006,28(8):38-42.
- [13] 张军霞,杨葆春,张静.青藏高原海东鸡屠宰性能与肌肉品质分析[J].现代畜牧兽医,2012(3):24-26.
- [14] 陈洁波,陶林,杜炳旺,等.麒麟鸡屠宰性能与肉品质的相关性分析[J].河南农业科学,2014,43(1):127-130.
- [15] 席鹏彬,蒋宗勇,林映才,等.鸡肉肉质评定方法研究进展[J].动物营养学报,2006,18(S1):347-352.
- [16] 谢恺舟,戴国俊,王金玉,等.京海黄鸡屠宰性能及肉品质的研究[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2008,29(1):45-48.
- [17] 李同树,刘凤民,尹逊河,等.鸡肉嫩度评定方法及其指标间的相关分析[J].畜牧兽医学报,2004,35(2):171-177.
- [18] 张珈榕,刘丽仙,荣华,等.云南茶花鸡肉品质物理特性的研究[J].中国家禽,2015,37(23):50-52.
- [19] 殷建玫,李国辉,屠云洁,等.汶上芦花鸡与芦花鸡 H 系屠宰性能及肉品质的比较[J].中国家禽,2014,36(24):10-12.

(上接第 143 页)