

黄河下游夏初一次强对流天气过程成因分析

周淑玲¹, 刘 澈¹, 李 韬², 李香梅³, 王鸣晓¹

1. 威海市气象局, 山东威海 264200
2. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710015
3. 安阳航空运动学校, 河南安阳 455000

摘要 利用常规观测资料、多普勒雷达资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 对 2008 年 6 月 25 日发生在黄河下游的一次强对流天气进行了天气动力学和雷达回波分析。结果表明, 这次强对流天气是在有利的大尺度环境下产生的, 强对流区存在有利的水汽输送和水汽辐合, 不稳定的大气层结有利于对流天气的发生, Q_{se} 高能区和 Q_{se} 密集区有利于对流天气的发展, 850hPa 以下为较强散度辐合, 800~600hPa 为高空散度辐散和 600hPa 以下的垂直上升运动为强对流的发生、发展提供了动力条件。根据多普勒雷达资料分析, 对流活动在河北境内生成, 移动过程中发展, 影响河南安阳时回波强度大于 50dBz, 径向速度图上存在中尺度辐合。

关键词 强对流; 成因分析; 多普勒雷达资料; 动力和热力条件

中图分类号 P458.2

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)24-0057-06

Analysis of the Causes of a Strong Convective Storm in the Lower Yellow River in Early Summer

ZHOU Shuling¹, LIU Che¹, LI Tao², LI Xiangmei³, WANG Mingxiao¹

1. Weihai Meteorological Office, Weihai 264200, Shandong Province, China
2. Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710015, China
3. Anyang Aero Sports School, Anyang 455000, Henan Province, China

Abstract The causes of a strong convective storm in the lower Yellow River in early summer on June 25, 2008 are diagnosed by using routine observation data, Doppler weather radar data and the NCEP/NCAR reanalysis data. It is shown that the joint effect of the high-level cold air and low-level warm air leads to the convective unstable atmosphere in knots. The shear line at 850hPa plays an important role in trigger and enhancement of convective systems over Anyang. It is also revealed that the vapor come from the Bohai Sea and Yellow Sea. The vapor convergence comes into existence in Anyang. They play a crucial role in the maintenance of strong convective storm. In the period of convective storm development, the strong convergence below 850hPa and divergence over 800hPa and below 600hPa are characteristics of divergence distribution. There exists convective ascending movement. The stronger updraft is below 600hPa. These provide favorable dynamic condition. There is high sufficient energy of Q_{se} in the convective storm region. The energy frontal zone exists in the west of convective storm area. Doppler radar data show that the convection echo generates in Hebei Province and develops during moving to Henan. The reflectivity at 3.4° elevation of the strongest convection echo of Puyang is more than 50dBz. In the velocity field. The meso-scale convergence in Anyang is studied by analyzing the Doppler radar data also.

Keywords strong convective storm; analysis of the causes; Doppler radar data; dynamic and thermal condition

收稿日期: 2010-11-10; 修回日期: 2010-12-10

基金项目: 山东省气象局重点课题(2008sdqzx19)

作者简介: 周淑玲, 高级工程师, 研究方向为短期天气预报分析与研究, 电子信箱: zhoushul@sohu.com

0 引言

强对流天气是在有利的大尺度环流背景下产生的中小尺度天气系统,常伴有雷雨大风、冰雹和龙卷风等,其特点是突发性强。许多研究者对强对流天气进行了分析和研究,夏丽花等^[1]分析了福建5月初的一次强对流过程,指出弱冷空气的侵入对不稳定能量释放起触发作用,大气的不稳定和良好的水汽输送条件有利于飑线的形成和发展。随着多普勒雷达等非传统资料的应用,强对流天气结构特征越来越受到重视,吴芳芳等^[2]分析了苏北7月一次雷雨大风的多普勒雷达特征,对阵风锋和下击暴流的雷达特征进行研究。王莉萍等^[3]分析了6月初河北的一次飑线,指出这次飑线过程雷达特征上形成比较典型的弓形回波和逆风区。裴丽丝^[4]研究指出,浙江5月初的一次短时暴雨和大风天气表现为多单体风暴的生成、发展加强和减弱消亡过程。郑金盈等^[5]分析了三门峡5月中旬的一次冰雹雷达回波特征,指出冰雹发生时低层回波强度 $>50\text{dBz}$,径向速度上有低层辐合,或逆风区,或中气旋。黄河下游是强对流天气多发区域,李韬等^[6]对黄河下游春季的一次大暴雨过程进行了诊断分析。安阳地处黄河下游附近,西临太行山,夏季强对流天气受地形影响较大^[7],强对流天气频发,2008年6月25日下午受强对流天气影响,安阳机场及周边地区出现雷雨大风,局地冰雹天气,安阳机场17:00(北京时,下同)听到雷声,雷雨大风17:28开始至18:30,持续1h左右,极大风速为 29.4m/s ,出现时间17:59,安阳西部的林县出现了冰雹,东部滑县的雷雨大风是 28.4m/s 。受其影响,航校办公楼的楼顶被掀跑 $2/3$,停机坪的铁栏杆大门被吹折弯超过 30° 而报废,所幸预报准确,提醒及时,飞行训练提前停飞收场,飞机全部推入机库,没有造成更大的损失。据灾情报告统计,受这次强天气过程影响,河北、河南等部分地市出现了8~11级大风,河北承德、丰润、临漳、邯郸等地普降暴

雨,雷雨时蔚县、永年、邯郸、峰峰、承德、平泉等站降冰雹,河南在这次强对流天气中出现了罕见大风。结合多普勒雷达资料对黄河下游强对流天气过程的成因分析还有待进一步探究,本文拟对该次强对流天气过程进行较深入的分析,试图能为今后类似天气的预报提供一些参考依据。

1 大尺度环流背景

利用常规观测资料,对造成该次强对流天气的环流背景进行了分析。

2008年6月24日20:00,500hPa 588线位于 25°N ,西伸脊点在 115°E ,贝湖南侧($48^\circ\text{N}, 108^\circ\text{E}$ 附近)有一低涡旋,长江中游—河南中部为南支槽,南支槽前西南气流向北输送到山东西部和江苏北部;25日08:00,500hPa图上副高继续西伸与大陆高压打通合并,但由于华北冷空气的南下,其东段略有南压,自河套经太原、西安、郑州到蚌埠一带有一支 $v \geq 12\text{m/s}$ 的西北气流,新疆为一强大暖高脊,西部有 12°C 强暖中心,贝湖西北部到东北至华北地区有一大范围的 $<-12^\circ\text{C}$ 冷中心,沿脊前西北气流不断有下滑冷槽经蒙古向东南移动,影响华北地区,华北处在西北气流里(图1(a));700hPa图上,沿青藏高原、河西走廊、内蒙及华北为一暖温脊,说明低层有暖平流向北输送;850hPa图上高原北侧为一个暖中心,暖舌向东伸到河套地区,华北—河套东部为一中支槽,安阳处于暖舌前,冷暖交接处的张家口—大同—鄂托克旗为一风向切变线,为对流的产生提供了动力触发机制(图1(b));在地面图上,较强的热低压从蒙古经河套东南伸影响华北地区,华北受热低压前偏南气流控制(图略)。高层冷空气不断与低层较暖的空气在山西、河北、河南北部交汇,形成上冷下暖的对流性不稳定层结,造成这些地区的强对流天气,出现雷雨大风,局地冰雹,天气形势和华北出现的强对流天气相吻合。

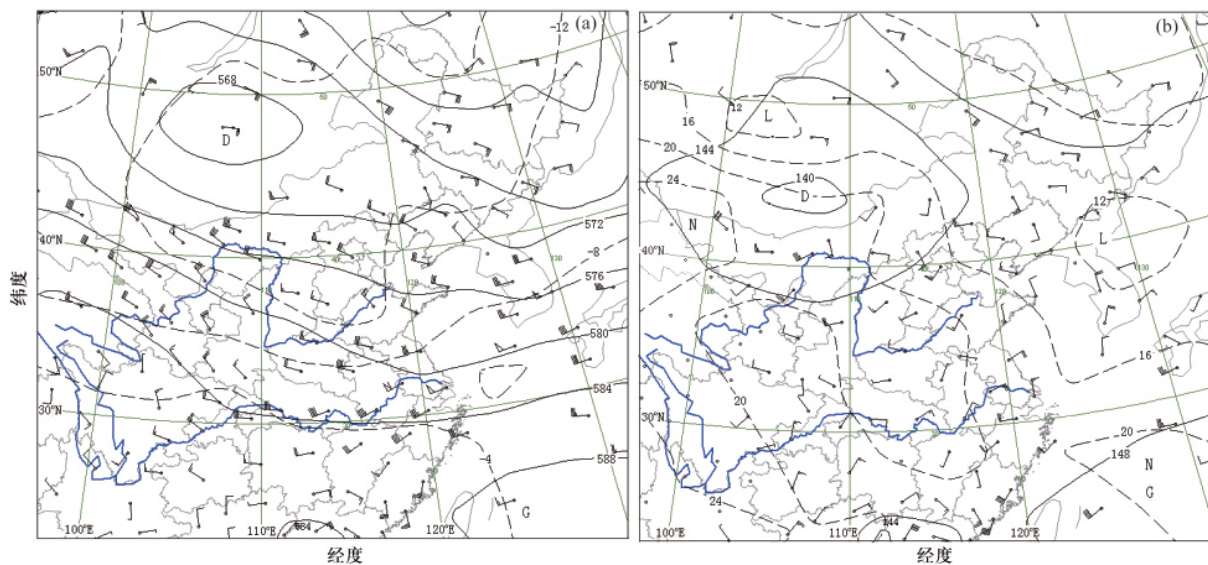


图1 2008年6月25日08:00时500hPa(a)和850hPa(b)高度场(实线,dagpm)、温度场(虚线, $^\circ\text{C}$)

Fig. 1 Geopotential height (solid line, dagpm), temperature (dashed line, $^\circ\text{C}$) at 500hPa (a) and 850hPa (b) at 08:00 on June 25, 2008

2 强对流天气雷达回波的分析

强对流风暴约 25 日 13:00 于榆次、阳泉一带生成,之后发展并东移南压,移动过程中不断有新风暴单体生成,14:00 左右形成多个单体共存的中尺度对流复合体,14:30 左右在邢台境内发展,在向东南方向移动过程中,两个新生成的单体风暴在邢台与邯郸之间逐渐壮大,这两个强对流单体相互之间距离很近,并在随后时间里持续发展,17:35 左右,其中一个强对流单体向东南发展,途经成安、魏县、大名、内黄、清丰、鄆城、郟城一线,发展至 21:00 左右减弱;另一个强对流单

体向南发展,途经磁县、安阳、汤阴、浚县、滑县后分裂成多个单体,一些单体向东发展合并,在经过安阳时,自动观测站观测到了 29.4m/s 的大风。图 2(a)为 25 日 17:47 濮阳多普勒雷达观测的 3.4°仰角的雷达回波 PPI 强度图,可以看出,雷达反射率回波中最大值超过 50dBz,最强为 60dBz,安阳西侧有一弓形回波;图 2(b)为 25 日 17:41 濮阳多普勒雷达观测 0.5°仰角的 PPI 径向速度图,可以看到,安阳附近气流属于纯辐合情况,左侧为流出气流,最大流出速度>17m/s,右侧为流入气流,流向雷达速度>27m/s,为反气旋式中尺度辐合。

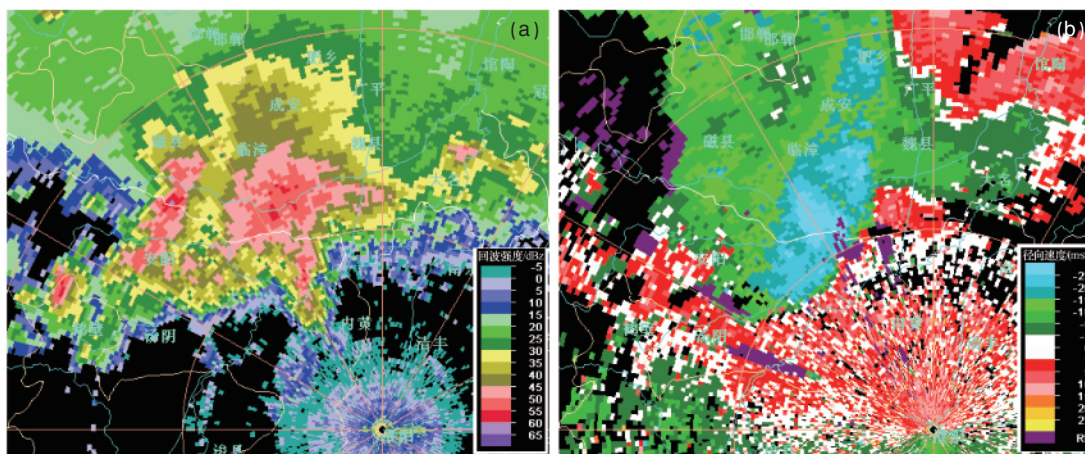


图 2 2008 年 6 月 25 日 17:47 濮阳多普勒雷达观测 3.4°仰角的雷达回波 PPI 强度图(a)和 17:41 0.5°仰角的 PPI 径向速度图(b)

Fig. 2 PPI display of the reflectivity at 3.4° elevation on 17:47 (a) and velocity at 0.5° elevation on 17:41 (b) in Puyang on June 25, 2008 (the range is 50 km)

3 强对流天气发生的物理量场特征

强对流天气的发生,主要由水汽条件、不稳定的大气层结和动力抬升等综合作用造成的,本文利用 NCEP/NCAR 再分析资料,对造成 2008 年 6 月 25 日安阳强对流天气过程的物理量场进行了分析。

3.1 水汽条件

分析 6 月 25 日 08:00(图 3(a))和 14:00(图 3(b))的水汽通量场的分布,08:00,水汽通量的大值中心位于台湾海峡附近,从台湾海峡—东海—黄海—渤海—华北东南部为一连通的水汽通量正值区,到 14:00,这一连通的正值区在东海北部到黄海中部断裂,但黄海北部到华北东南部仍为水汽通量正值区,且正值区的范围向南扩展到河南北部,说明强对流天气发生前水汽输送比较有利。

分析 25 日 08:00(图 3(c))和 14:00(图 3(d))的水汽通量散度场的分布可以看出,08:00,安阳附近的水汽通量散度在 0 值区边缘,到 14:00,水汽通量散度的辐合加强,在安阳东侧出现 $-1 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽通量散度中心,安阳处于水汽通量辐合区内。

以上分析说明,强对流天气发生区内有连续的水汽输送,且水汽在强对流天气发生区内产生辐合,为强对流天气的发生提供有利的水汽条件。

3.2 不稳定大气层结条件

分析太原探空站的 $T\text{-lg}P$ 图,6 月 24 日 20:00 和 25 日 08:00(图 4)在 600~300hPa 为正的或不稳定能量,说明对流层中上部为不稳定的大气层结,一旦有触发机制,就会发生对流天气。分析 K 指数,24 日 20:00 为 30℃,25 日 08:00 为 27℃,在 26~30℃之间,可能出现零星雷暴;分析沙氏指数,24 日 20:00 为 -3.1℃,25 日 08:00 为 -5.1℃,均 < -3.0℃,可能产生强雷暴或冰雹;分析假相当位温差 $\Delta Q_{sc} = Q_{sc850} - Q_{sc500}$,24 日 20:00 ΔQ_{sc} 为 13.2℃,25 日 08:00 ΔQ_{sc} 为 11.6℃,均为正值,说明大气层结处于不稳定状态。

分析 25 日 08:00 风的垂直切变,850hPa 为 6m/s 西南风,到 700hPa 转为 6m/s 西北风,且西北风往高层风速逐渐增大,300hPa 达 20m/s,200hPa 达 32m/s。可见,对流发生区低层为西南气流,高层为干冷平流,形成较强的位势不稳定层结,高空的西北急流存在,有利于发展成有组织的强对流系统。

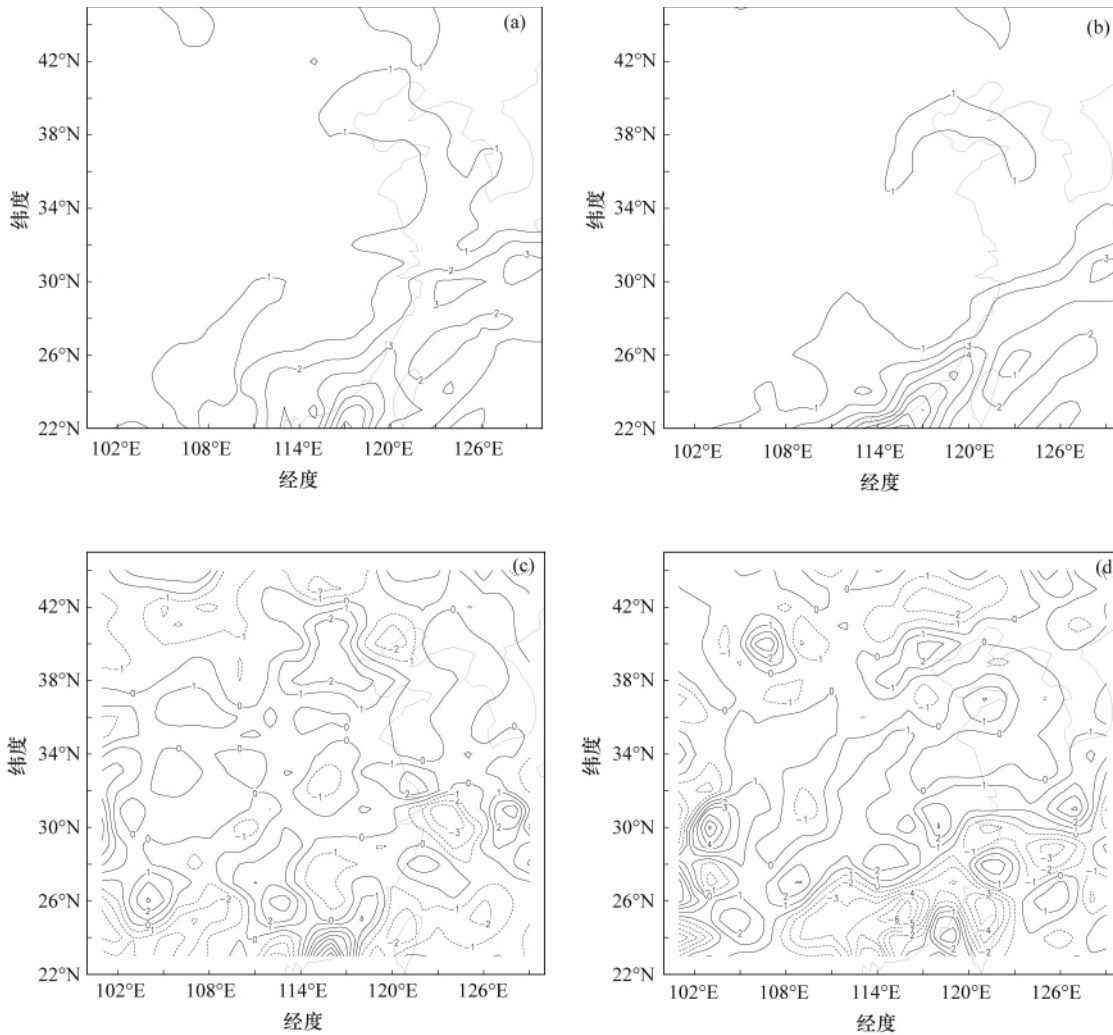


图 3 2008 年 6 月 25 日 08:00 和 14:00 时的水汽通量 ((a)、(b)) 和水汽通量散度 ((c)、(d)) 分布 (单位: $10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 3 Water vapor flux fields ((a), (b)) and water vapor divergence fields ((c), (d)) at 08:00 and 14:00 on June 25, 2008 (unit: $10^{-6} \text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

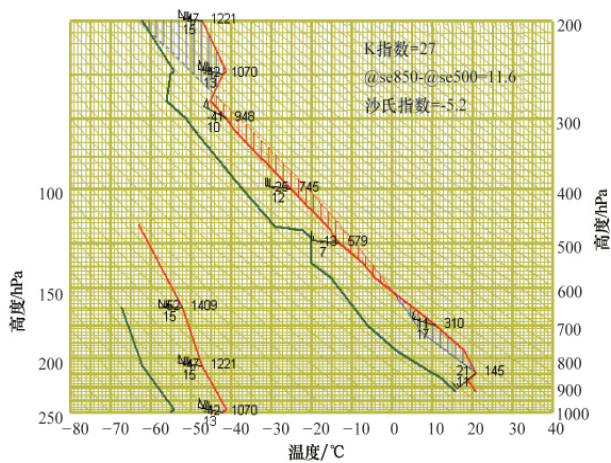


图 4 2008 年 6 月 25 日 08:00 太原探空站的 $T\text{-lg}P$ 图
Fig. 4 The $T\text{-lg}P$ of Taiyuan at 08:00 on June 25, 2008

以上分析表明, 对流天气发生区为不稳定的大气层结, 有利于对流天气的发生。

3.3 热力条件分析

850hPa Q_{se} 分布表明(图 5), 25 日 08:00 在河南中南部有 2 个 Q_{se} 大值区(340K), 范围小; 14:00, $\geq 340\text{K}$ 的 Q_{se} 大值区范围覆盖整个河南省, 呈东北—西南向的带状分布, 最大中心位于河南中部, 为 345K, 安阳位于 Q_{se} 大值区的北端, 其西侧等值线密集, 说明安阳西侧能量锋区大, 有利于对流在此处发展。

3.4 动力特征分析

图 6(a) 为 2008 年 6 月 24 日 08:00 到 26 日 02:00 安阳附近($36^\circ\text{N}, 114^\circ\text{E}$) 散度的时间—高度剖面图。分析可知, 强对流发生前, 25 日 14:00, 850hPa 以下为散度辐合, 800~600hPa 为无辐散层, 600~400hPa 为辐散层, 说明散度场的配置利于对

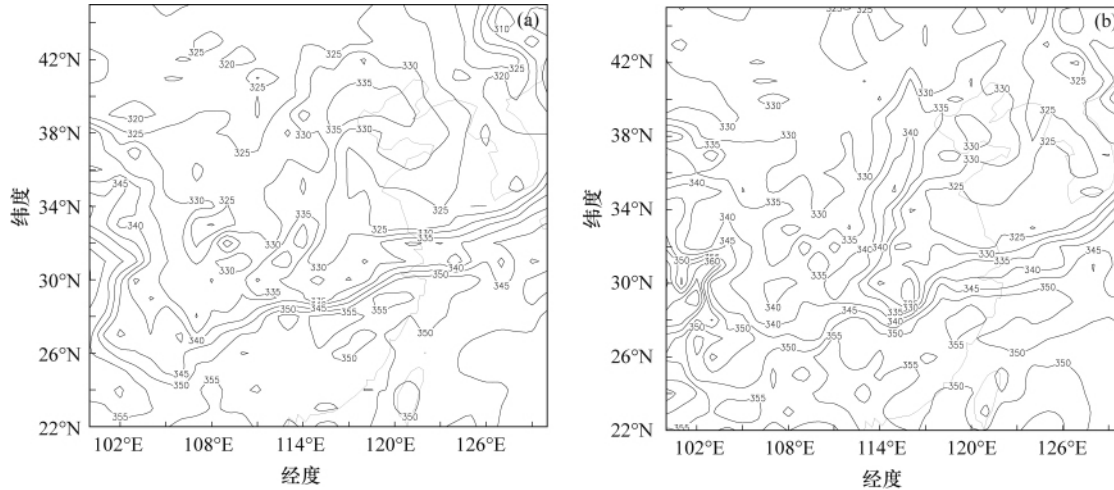


图 5 2008 年 6 月 25 日 08:00(a) 和 14:00(b) 850hPa Q_{850} 分布 (单位: K)

Fig. 5 Distribution of Q_{850} at 850hPa at 08:00 (a) and 14:00 (b) on June 25, 2008 (unit: K)

流天气的发生; 25 日 20:00 强对流发生前后, 850hPa 以下为较强辐合, 辐合中心在 950hPa 附近, 800~600hPa 为高空辐散, 辐散中心位于 800~700hPa, 最强的低层辐合出现在 20:00 左右, 即强对流发生前后, 同时 500hPa 附近又有一散度辐合, 300hPa 附近为散度强辐散, 300hPa 高空的较强抽吸作用对对流天气的维持和发展起重要作用。

图 6(b) 为 2008 年 6 月 24 日 08:00 到 26 日 02:00 安阳附近垂直上升运动的时间-高度剖面图。分析可知, 25 日 14:00, 上

升运动向上达到 600hPa, 上升运动中心位于 800~750hPa, 500~200hPa 为高空下沉运动, 上升运动有利于触发对流天气的发生、发展; 20:00 850hPa 为较弱的上升运动, 400~250hPa 为上升运动, 说明强对流天气发生在较深厚的上升运动区, 同时 700~500hPa 为较强下沉运动, 上升运动的垂直结构反映了强对流发生前后气流的垂直结构特征。

在强对流发生区, 散度场的低空辐、高空辐散, 及较强的上升运动, 利于对流的发生、发展和维持。

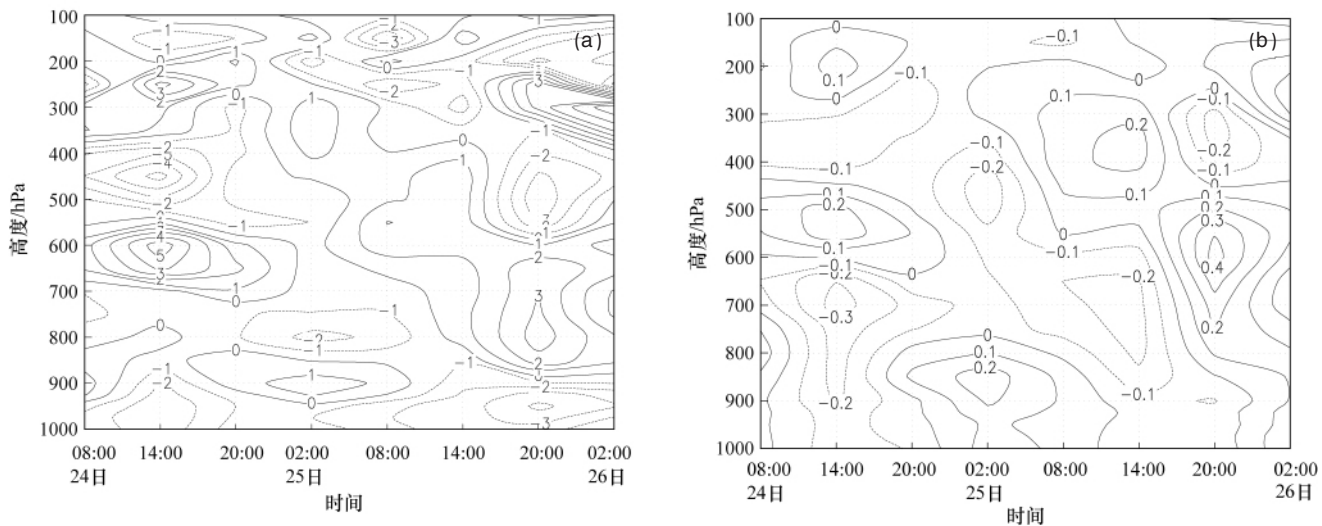


图 6 2008 年 6 月 24 日 08:00—26 日 02:00 安阳附近 (36°N, 114°E) 散度 (a, $10^{-5}s^{-1}$) 和垂直上升运动 (b, $Pa \cdot s^{-1}$) 的时间-高度剖面图

Fig. 6 Time-height cross-section of horizontal divergence (a, $10^{-5}s^{-1}$) and vertical velocity (b, $Pa \cdot s^{-1}$) over 36°N, 114°E from 08:00 June 24 to 02:00 June 26, 2008

4 结论

通过对 2008 年 6 月 25 日发生在河南安阳强对流天气的动力学诊断和多普勒雷达回波的分析, 得到如下结论。

1) 此次强对流天气是发生在高空西北气流, 低空西南气流的环流形势下, 高层冷空气与低层暖湿的空气在山西、河北、河南北部交汇, 形成上冷下暖的对流性不稳定层结, 一旦

有触发机制,就会产生对流天气。

2) 多普勒雷达回波揭示了对流单体的生成、发展和移动,强对流单体在河北生成,在向东南方向移动时不断有新的对流单体生成和发展,影响安阳时在 PPI 强度回波图上表现为弓状回波,雷达反射率回波中最大值在 50dBz 以上,最强的为 60dBz,在 PPI 径向速度图上为中尺度反气旋式辐合。

3) 本次强对流天气发生时存在水汽输送和水汽辐合,但都比较弱;对流指数和风垂直切变表明大气为对流不稳定的大气层结,对流指标表明有利于对流天气发生;安阳位于 Q_{se} 大值区的北端,其西侧等值线密集,利于对流天气的发展;强对流发生时的动力特征为 850hPa 以下为较强辐合,800~600hPa 为高空辐散,600hPa 以下为较强的垂直上升运动。

参考文献 (References)

- [1] 夏丽花,冯晋勤,黄美金,等. 一次强对流天气过程的成因分析 [J]. 气象, 2006, 32(7): 110-114.
Xia Lihua, Feng Jinqin, Huang Meijin, et al. *Meteorological Monthly*, 2006, 32(7): 110-114.
- [2] 吴芳芳,王慧,韦莹莹,等. 一次强雷暴阵风锋和下击暴流的多普勒雷达特征[J]. 气象, 2009, 35(1): 55-64.
Wu Fangfang, Wang Hui, Wei Yingying, et al. *Meteorological Monthly*, 2009, 35(1): 55-64.
- [3] 王莉萍,崔晓东,常英,等. 一次飏线天气的非常规气象资料特征分析 [J]. 气象, 2006, 32(10): 88-93.
Wang Liping, Cui Xiaodong, Chang Ying, et al. *Meteorological Monthly*, 2006, 32(10): 88-93.
- [4] 裴丽丝. 一次多单体风暴和弓形回波过程的多普勒雷达探测特征研究 [J]. 科技导报, 2006, 24(9): 13-15.
Pei Lisi. *Science & Technology Review*, 2006, 24(9): 13-15.
- [5] 郑金盈,吕作俊,闫银霞,等. 三门峡新一代天气雷达冰雹回波特征分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(增刊): 25-27.
Zheng Jinying, Lu Zuojun, Yan Yinxia, et al. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2007, 30(Suppl): 25-27.
- [6] 李韬,周淑玲,刘澈,等. 黄河下游春季一次大暴雨过程的结构特征及落区分析[J]. 科技导报, 2006, 24(9): 21-24.
Li Tao, Zhou Shuling, Liu Che, et al. *Science & Technology Review*, 2006, 24(9): 21-24.
- [7] 赵玉良,张玉峰,赵武. 地形对安阳天气变化的影响[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(增刊): 81-82.
Zhao Yuliang, Zhang Yufeng, Zhao Wu. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2007, 30(Suppl): 81-82.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“第十六届木材、纤维、制浆化学国际会议”征文



中国造纸学会将于 2011 年 6 月 8—10 日在天津市召开“第十六届木材、纤维、制浆化学国际会议”。

征文内容: (1) Chemistry of wood and non-wood species; (2) Chemistry and structure analysis of the fiber cell wall and its components; (3) Lignin biosynthesis and chemistry; (4) Genetic engineering; (5) Chemistry of biomaterials; (6) Pulping methods associated with wood bio-refinery; (7) New pulping and bleaching methods and processes; (8) Analytical methods on wood, fibers, pulping chemistry and bio-refinery; (9) Enzyme assisted pulping and bleaching technologies; (10) Cellulosic ethanol and biofuels; (11) Lignocellulosic-based biomaterial/composites; (12) Fiber-related Nanotechnology; (13) Nano- and micro-crystalline cellulose and applications; (14) Characteristics and utilization of secondary fibers; (15) Papermaking chemistry related to the using of high yield pulps and secondary fibers; (16) Effluent treatment/environmental remedy in pulping and bleaching processes.

全文截止时间: 2011 年 1 月 31 日。

联系电话: 022-60602510(张瑞霞); 电子信箱: iswfpc@163.com。

会议网站: <http://www.iswfpc2011.org>。

“第四届国际光电子探测与成像技术 学术交流会”征稿



中国宇航学会将于 2011 年 5 月 24—26 日在北京召开“第四届国际光电子探测与成像技术学术交流会”。

会议征文专题: ① 传感器与微机械光器件技术; ② 激光探测和成像技术; ③ 红外成像技术及应用; ④ 成像探测器技术与应用; ⑤ 太赫兹技术与应用; ⑥ 空间探测技术与应用; ⑦ 生物激光及其医学应用。

全文截止时间: 2011 年 4 月 30 日。

联系电话: 022-23669275, 022-23613813(李瑾, 吴迪, 刘艳, 邓伟, 周志远); 电子信箱: conf@cnoenet.com。