

黄河下游春季一次大暴雨过程的结构特征及落区分析

Structure Characteristics and Appearance Areas of a Spring Rainstorm Process in the Lower Reaches of the Yellow River

李 韬/LI Tao¹, 周淑玲/ZHOU Shu-ling², 刘 澈/LIU Che², 闫淑莲/YAN Shu-lian²

1. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710015

2. 山东省威海市气象局, 山东威海 264200

1. Remote Sensing Information Center for Agriculture, Shaanxi Province, Xi'an 710015, China

2. Weihai Meteorological Bureau, Weihai 264200, Shandong Province, China

[摘要] 利用 HLAFS 资料和实况资料, 对 2003 年 4 月 17 日至 18 日发生在黄河下游的一次强暴雨过程的大尺度环流背景和物理量场的结构特征进行了分析。结果表明, 本次暴雨是高空冷空气、低空低压切变线和黄淮气旋外围倒槽共同影响造成的; 从南海到山东的西南低空急流为暴雨区提供了充沛的水汽和能量; 暴雨区 850 hPa 上的高 θ_e , 700 hPa 上的强烈垂直上升运动, 以及低空辐合、高空辐散是造成暴雨的有利物理量场特征。大的正涡度区位于 500 hPa 以上, 600 hPa 以下为强辐合区, 以上则为强辐散区, 这种结构配置成为暴雨发生的有利的动力机制。

[关键词] 暴雨过程; 结构特征; 物理量场

[中图分类号] P426.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)09-0021-04

Abstract: Using the results of HLAFS and really detected data this paper analyses a strong rainstorm process on April 17-18, 2003 in the Lower Reaches of the Yellow River. The obtained results show that this rainstorm process is mainly resulted from the joint effect of high-level cold air, low-level low pressure shear line and inverted trough around Huang-huai cyclone; the low-level southwest jet from the South China Sea to Shandong Province provides abundant water-vapor and heat energy; higher θ_e at 850 hPa, stronger updraft at 700 hPa, low-level convergence and high-level divergence are the main favorable and physical characters of this rainstorm process. The vertical distribution of physical characters in the rainstorm is higher positive vorticity at 500 hPa, stronger convergence and divergence over and below 600 hPa respectively, which provides dynamical mechanism for the rainstorm process.

Key Words: rainstorm process; characters of structure; physical variable fields

CLC Number: P426.6

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)09-0021-04

1 引言

受西南暖湿气流和冷空气的共同影响, 2003 年 4 月 17 至 18 日黄河下游出现一次春季罕见的大范围强降水天气过程, 鲁西南、鲁西和鲁中山区降雨量普遍出现大到暴雨, 局部地区出现 100 mm 以上的大暴雨 (图 1)。全省过程平均降水量 45.9 mm, 沿黄地区有 40 站普降暴雨, 其中大暴雨有 7 站, 济南市北部的济阳县 24 h 降水量就达到了 119 mm, 最大降水出现在泰山站, 过程降雨量达到 145 mm。这是自 1950 年有气象记录以来春季同期在山东出现的最大的一次降水过程, 其范围之广、强度之大均为有气象记录以来之罕见^[1]。

暴雨天气过程是多种不同尺度系统相

互作用的结果^[2]。这次过程的发生就是多种天气系统有利配置、相互作用的产物, 暴雨发生前后天气系统的结构表现出许多特征。龚佃利^[3]等利用中尺度数值预报模式 MM5v 3.5 对这次过程进行了数值模拟, 利用数值模拟结果对此次暴雨过程的形势演变与水汽条件进行了分析, 初步提示了其中的水循环过程。张春喜等的分析表明^[4], 这次强降水过程是由连续 2 次 MCS 的发展造成的, 而其中的中 α 尺度对流系统直接引发了大暴雨的产生^[5]。同时, 此次过程是在有利的大尺度环流背景条件下, 暴雨区及周边地区积聚了充足的水汽及对流有效位能, 而地面附近的辐合起到了重要的触发作用^[6]。赵宇等的诊断分析发现, 这种暴

雨发生的一种重要机制, 就是当某一区域的对流不稳定和斜压不稳定增强时, 对流层高层高湿位涡的上传会导致位势不稳定能量的储存与释放, 从而使对流加强, 降水加大^[6-7]。本文试图通过对这次暴雨过程的物理量场的结构特征的分析, 找出一些造成暴雨成因和落区的主要因子, 为这类强降水过程的预报提供重要的参考依据, 从而提高暴雨预报准确率和服务水平。

2 大尺度环流背景及影响系统

这次罕见的区域性暴雨天气过程发生在欧亚环流发生调整的环流背景下, 即 500 hPa 乌拉尔山地区高压崩溃、高原低槽强烈发展东移, 暴雨区发生在发展东移的高空

收稿日期: 2006-07-03

作者简介: 李 韬, 男, 陕西省农业遥感信息中心, 工程师, 主要从事遥感产品分析与应用; E-mail: lifeng2575@163.com

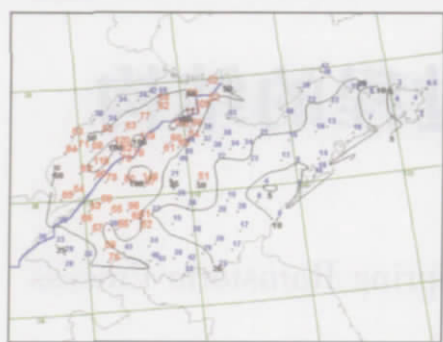


图1 2003年4月17-18日过程雨量
(单位:mm)

Fig. 1 The total precipitation amount from 17 to 18 April 2003 (unit : mm)

槽前及850 hPa西南急流的出口处。

分析2003年4月17日08时到17日20时500 hPa的环流形势发现,16日08时(图2a)亚欧高纬度乌拉尔山地区为阻塞高压,贝加尔湖附近一冷低压,冷空气堆积在贝加尔湖以西至萨彦岭一带,亚洲中纬度

地区环流平直,乌拉尔山南侧至萨彦岭以西50°N为横槽;同时新地岛附近有冷槽活动。随着新地岛冷槽的进一步发展,导致乌拉尔山阻高势力减弱且逐渐崩溃,其前部的冷空气主体快速东移扩散南下,到17日20时(图2b)与北上的暖湿空气相汇,在河套以东41°N地区形成了一条东西向的横槽,这是一种有利于黄河下游地区春季出现强降水的有利的500 hPa环流背景形势。

在700 hPa环流形势图上,4月17日08时(图2c),东北冷涡中下滑出的冷空气加强,东北地区低槽后部的冷平流明显,这为暴雨的产生提供了良好的中层冷平流条件,成为有利于强降水发生的大气斜压形成的主要原因。同时,在河套地区西部经川东到云南地区有一切变线存在,这一切变线的前部是大片的西南暖湿气流区,这为暴雨的发生提供了重要的水汽与热量。到17日20时(图2d),东北低槽实现一个更新过程,即原有槽已东移,而在该区域又建立起一新的低槽,其后部的西北气流继续向南扩散弱冷空气。而这时,原在河套的切变缓慢东移到山东西部经河南西部至云贵一

带,切变的辐合明显加强。正是这一辐合系统,成为暴雨发生重要的触发机制。

在850 hPa图上,4月17日08时(图2e),从乌拉尔山经西伯利亚、蒙古中部至河套北侧为宽广强大的反气旋环流,我国东北北部为一冷低压,低压槽向西伸至河套北部。至16日20时,低压槽稳定少动,在河套南部有一低压环流生成,河套至华北的等温线由每5个纬距4条增至6条,表明低层冷空气侵入明显。17日20时(图2f),河套南部的低压加深,其东北侧的切变线位于渤海-辽宁,同时切变线南侧的西南急流明显增大,在山东西北部经渤海到辽东半岛为一狭窄的西南风与东北风的强辐合带。可见,低层冷空气的入侵提供的大气斜压条件,偏北气流与西南气流之间形成切变线产生的强辐合,为强降水的产生提供了有利的低层条件。图2的分析表明,低层850 hPa上从原有的黄淮低中新生一低压,这一低压直接激发强降水的产生。因此,这次山东的强降水分布就与这条强辐合带相对应,其暴雨中心位于山东低压中心附近。

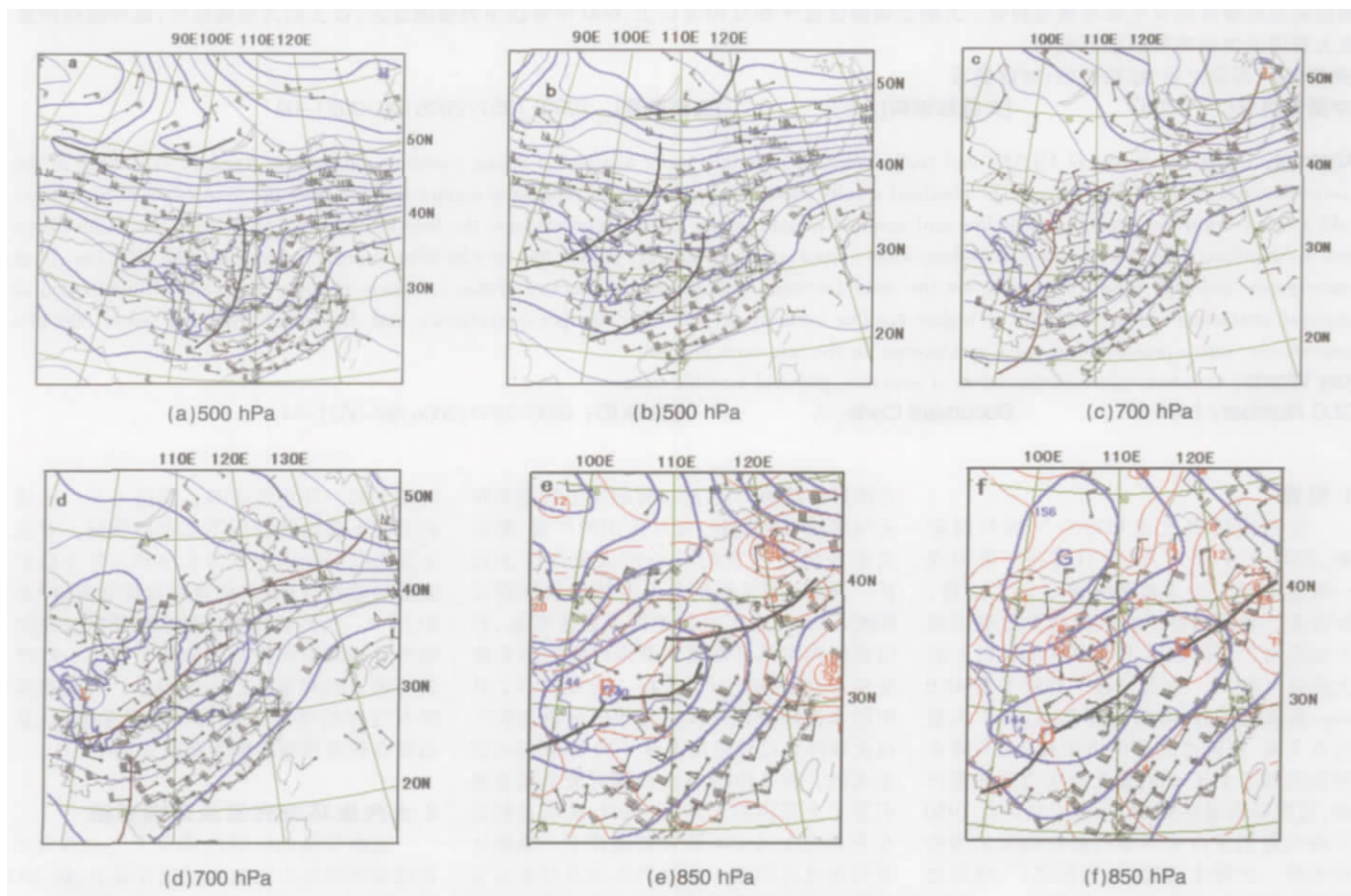


图2 2003年4月17日08时和20时环流形势分析图

注:蓝色粗实线为等位势高度线,粗棕实线为槽线,细实线为(T-Td)线,风羽为实测站风

Fig. 2 Potential height, temperature and wind fields analysis on 08:00

(a), 20:00 (b) 17 April 2003 at 500 hPa; 08:00 (c), 20:00 (d) at 700 hPa; 08:00 (e), 20:00 (f) at 850 hPa (The thick solid line is isopotential potential height line (blue), thick brown line is trough line, thin line is (T-Td) line (a, b, c, d), red line is (T-Td) line (e, f), wind plume represents really detected wind.)

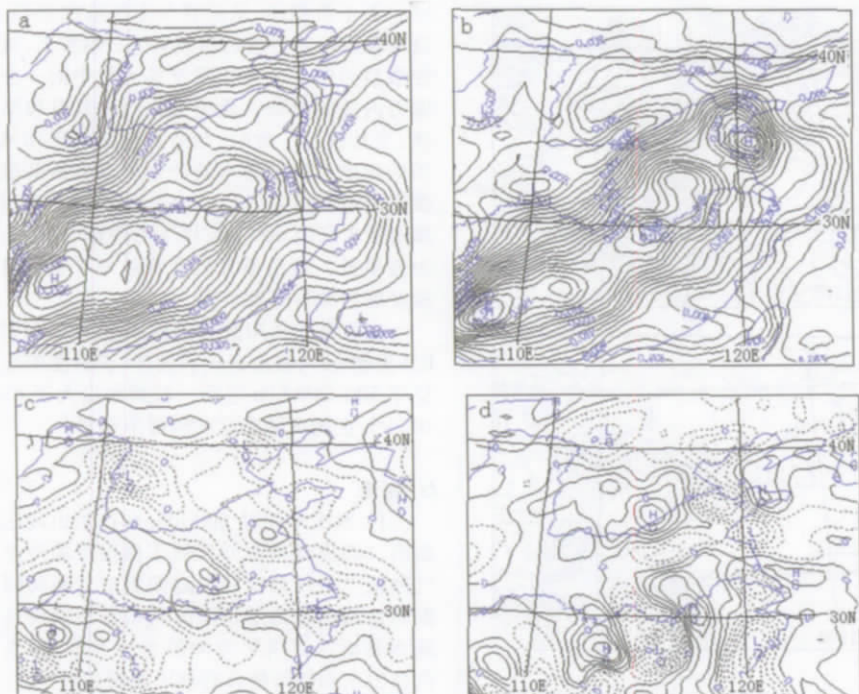
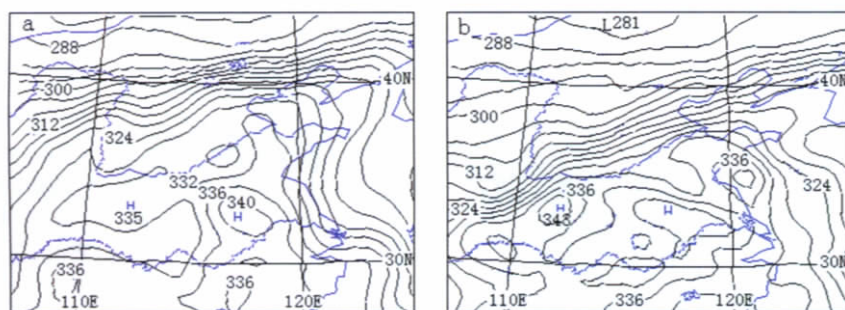


图3 2003年4月17日08时和20时850 hPa水汽通量

(a,b. 单位: $\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 和水汽通量散度(c,d. 单位: $10^{-6} \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{s})$)Fig. 3 Water vapor flux fields (a, b. unit: $\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$) and water vapor flux divergence fields (c, d. unit: $10^{-6} \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{s})$) at 08:00 and 20:00 17 April 2003图4 2003年4月17日08时(a)和20时(b)850 hPa假相当位温 θ_{se} 分布 (单位: K)Fig. 4 Fake equivalent potential temperature θ_{se} of 850 hPa at 08:00

(a) and 20:00(b) 17 April 2003 (unit: K)

3 物理量场的水平分布特征

暴雨的发生离不开有利的水汽条件、不稳定的大气层结和强烈的上升运动^[9]。造成本次山东大范围暴雨天气就是在这种有利的物理量场配置下发生的。

3.1 有利的水汽输送和水汽辐合

水汽通量分布的分析表明,17日08时850 hPa在贵阳附近有一水汽通量高值区,高值轴线呈东北-西南走向,其向东北伸向鲁西北、渤海和山东半岛西部(图3a)。到20时,850 hPa水汽通量高值区范围向东北发展,高值轴线仍呈东北-西南走向,在鲁东南有一高值中心(图3b)。这说明中低层

的水汽主要来自长江中游。

在水汽通量散度图上,17日08时850 hPa,整个山东处于水汽辐合区,中心在120°E附近(图3c);到20时,850 hPa水汽辐合区在鲁东南和黄河口各有一强中心,山东半岛为水汽辐散区(见图3d)。这说明来自长江中游的水汽输送到黄河下游的山东境内,且在这里汇聚。

分析对流层低层的假相当位温发现,暴雨发生前17日08时850 hPa假相当位温场上,江苏境内有一 θ_{se} 大值中心(大于340 K),而华北东部为极小值,大值和极小值之间40°N附近假相当位温变化剧烈,这里的假相当位温等值线最密集(图4a)。山

东120°E以西到渤海处于 θ_{se} 高舌控制;20时,山东半岛以西仍处于 θ_{se} 高舌控制(图4b)。这说明此时低层水汽得到积累,且北方干冷空气和南方北上的暖湿空气正好在黄河下游交汇,强暴雨正好发生在交汇区及其南侧。

3.2 辐合、辐散和强烈的上升运动

通过对500 hPa涡度、散度,850 hPa散度和700 hPa上升速度的分析发现,这次暴雨是发生在大的正涡度区,低层辐合、高层辐散和700 hPa强上升速度区附近。在涡度场上(图5a),17日20时500 hPa山东西部在济南附近的鲁中为正的涡度区,而在山东半岛东部为负涡度区。这一正涡度区正好与700 hPa强上升速度区重合。

在散度场上,17日20时,山东半岛东部3层均为辐散,鲁东南500 hPa为强辐合区,而在120°E以西的黄河下游,500 hPa为强辐散区(图5b),850 hPa则为强辐合区,强辐合中心分别在鲁中和济南附近(图5c)。这种低空强辐合、高空强辐散有利于强对流天气的发生、发展。

在700 hPa垂直上升运动图上,17日20时在鲁中为非常强的上升运动,中心最大值为 $-1.2 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,山东半岛东部为下沉气流区(见图5d)。暴雨、大暴雨的落区发生在正涡度区,即强低空辐合、高空辐散区及700 hPa强上升速度区3者的重合区。由于山东半岛处于负涡度、低层辐散和700 hPa下沉气流控制,因此这里的降水比较弱。

4 物理量场的垂直分布特征

沿117°E对2003年4月17日20时作比湿、 θ_{se} 、涡度、散度径向垂直剖面图,以此对造成这次暴雨过程的垂直结构特征进行分析。

4.1 对流稳定性

从2003年4月17日20时的 θ_{se} 的经向垂直剖面图(沿117°E)(图6a)可以看出,在37.0°N附近, θ_{se} 水平梯度相当明显,在较厚的大气层中等 θ_{se} 线基本上呈垂直分布,暴雨区850 hPa以下为对流不稳定区。比湿的经向垂直剖面图(见图6b)分布表明,暴雨区700 hPa以下为比湿的相对低值区,以上的潮湿气层则伸展至200 hPa,这是由于强对流天气的强烈上升运动,造成大气上下强烈混合的结果。

4.2 散度、涡度垂直分布

同一垂直剖面图上散度分布(见图6c)显示,暴雨区的低层强辐合、高空强辐散,负散度中心以38°N为对称,分别位于35°N附近和40°N附近,且均在600 hPa辐合中心位于700 hPa附近,中心最大值可达 $-10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,高空强辐散中心在500 hPa附近,中心最大值可达 $15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,位置在35°N。在20°~40°N的对流层上部(400~200

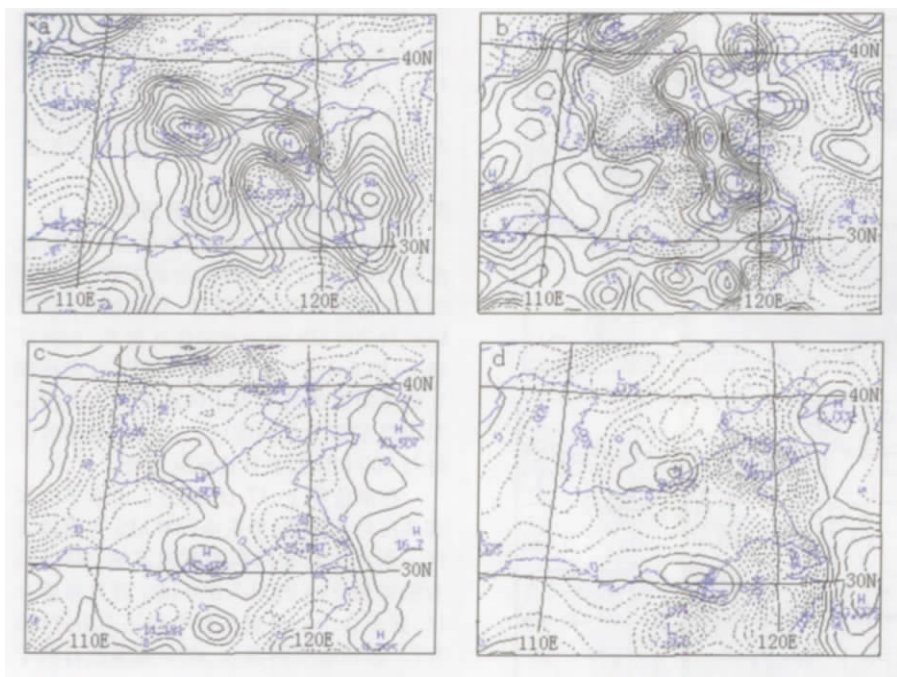


图 5 2003 年 4 月 17 日 20 时 500 hPa 涡度(a. 单位: 10^{-5} s^{-1}), 500 hPa (b) 和 850 hPa (c) 散度(单位: 10^{-5} s^{-1}), 700 hPa 垂直上升速度 ($\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$) (d)
Fig. 5 500 hPa vorticity (a. unit: 10^{-5} s^{-1}), 500 hPa (b) and 850 hPa (c) divergence (unit: 10^{-5} s^{-1}), 700 hPa (d) vertical updraft velocity ($\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$) at 20:00, 17 April 2003

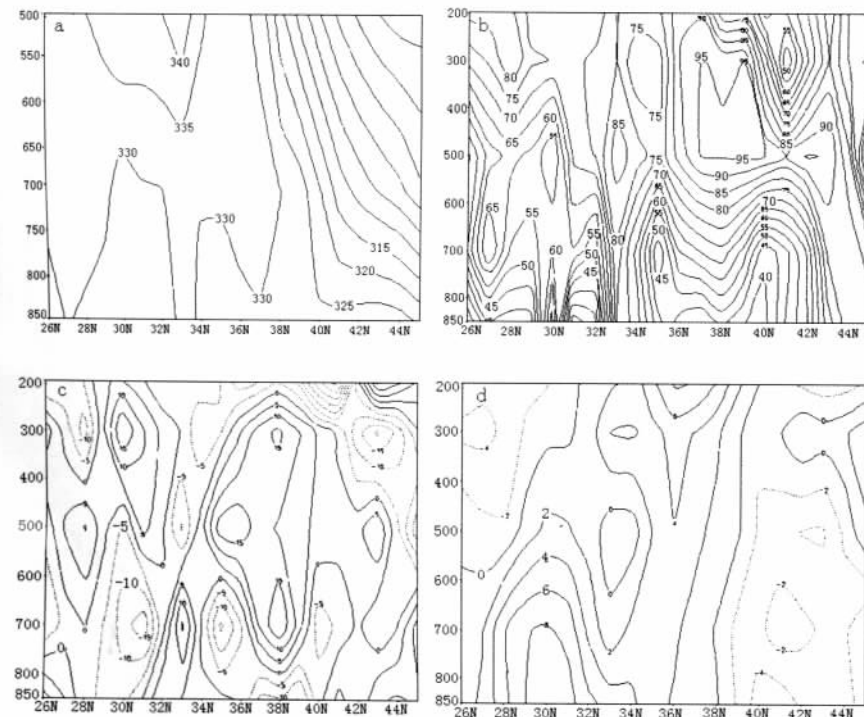


图 6 2003 年 4 月 17 日 20 时沿 117°E 假相当位温 (a. 单位: K)、比湿 (b. 单位: g/kg)、散度 (c. 单位: 10^{-5} s^{-1}) 和涡度 (d. 单位: 10^{-5} s^{-1}) 经向垂直剖面图
Fig. 6 Vertical profiles in longitude of fake equivalent potential temperature (a. unit: K), humidity ratio (b. unit: g/kg), divergence (c. unit: 10^{-5} s^{-1}) and vorticity (d. unit: 10^{-5} s^{-1}) at 20:00 17 April 2003

hPa) 为正负相间、呈波状分布的散度中心。这种现象与重力波的激发有关。事实上, 这种激烈的中尺度天气系统是大气中的一种重力内波的形式, 此类重力内波具有移动性, 当其移经一地时, 会造成地面气压和风场的扰动, 这种重力波产生的重力振荡能激发出对流运动。可见, 山东西部 36°-39°N 暴雨发生区的 600 hPa 以下为强辐合, 以上为强辐散, 这正是大尺度背景下有利于对流发展的动力配置结构。

在涡度的径向垂直剖面图上 (沿 117°E) (见图 6d), 暴雨区正涡度区, 正涡度中心位于 500-200 hPa 之间, 其最大值大于 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 正涡度随高度的倾斜不明显。

5 结论

1) 本次暴雨是 500 hPa 乌拉尔山高压崩溃、高原低槽强烈发展东移携带的冷空气和低空低压切变线及地面黄淮气旋共同影响造成的, 低层从南海到山东的西南急流为暴雨区提供了充沛的水汽和能量, 水汽在山东西部的辐合有利于暴雨的发生。

2) 850 hPa 的高空辐合、700 hPa 强烈的垂直上升运动, 以及低空辐合、高空辐散是有利于此次暴雨过程发生的物理量场分布的重要特征。

3) 强对流发展的垂直结构特征为: 暴雨发生区 850 hPa 以下为对流不稳定, 正涡度区尤其 500 hPa 以上为大的正涡度中心, 散度场上 600 hPa 以下为强辐合, 以上为强辐散。这种结构有利于暴雨的发生。

参考文献(Reference)

- [1] 蒋伯仁, 孙兴池, 张少林. 山东主汛期暴雨分析及预报研究综述 [J]. 山东气象, 2005, 25 (2): 1-4.
- [2] 王建捷, 陶诗言. 1998 梅雨锋的结构特征及形成与维持 [J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 526-534.
- [3] 龚佃利, 王庆, 刘诗军. 山东一次春季暴雨过程的水汽收支和降水转化数值分析 [J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 109-118.
- [4] 张春喜, 朱佩君, 郑永光, 等. 一次春季暴雨不稳定条件和对流触发机制的数值模拟研究 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2005, 41 (5): 746-753.
- [5] 卓鸿, 姚秀萍, 刘爱梅, 等. 一次春季黄河下游 MCS 暴雨的综合分析 [J]. 气象学报, 2004, 62(4): 504-511.
- [6] 赵宇, 张兴强, 杨晓霞. 山东春季一次罕见暴雨天气的湿位涡分析 [J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(6): 836-843.
- [7] 赵宇, 杨晓霞, 孙兴池. 一次北方春季罕见暴雨天气的湿位涡分析 [J]. 山东气象, 2003, 23 (4): 15-17.
- [8] 陆汉城, 杨国祥. 中尺度天气原理和预报 (第二版) [M]. 北京: 气象出版社, 2004: 41-76.

(责任编辑 胡春华)