第 33 卷第 4 期
2005 年 8 月
气 象 科 技
METEOROLOGICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.33, No.4
Aug. 2005

陇东异常偏早暴雨个例分析

王位泰[1,2]　李锦萍[2]　张天锋[2]　黄　斌[2]　任继帮[2]

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所,兰州 730020;2 甘肃省庆阳市气象局,西峰 745000)

摘要　对 2003 年 4 月 1 日陇东庆城县暴雨过程的环流背景、动力、热力和水汽等条件诊断分析,旨在探讨陇东春季异常偏早暴雨的短期天气分析预报思路。结果表明:异常偏早暴雨过程前 48 h 和 24 h,增温明显,地面的湿静力能量跃增,后期冷空气较强,中低层对流性不稳定层结显著,深厚的正涡度、低层的低涡辐合和高空的强辐散场发展是仲春季节产生异常偏早暴雨的主要影响因子。

关键词　异常偏早暴雨　环流形势　影响系统

引言

“2003.4.1”暴雨是陇东地区自 1937 年有气象记录以来出现最早的暴雨过程,比多年平均第一场暴雨出现时间偏早 106 天,比 2000 年前最早出现日期偏早 25 天。分析这次暴雨的环流特点、影响系统和物理量场分布特征,对于探讨陇东黄土高原仲春季节异常偏早暴雨短期预报思路具有积极意义。

1　资料来源

①MICAPS 1.0 系统天气形势客观分析资料及物理量场诊断资料;②庆阳市 8 站地面气象要素;③平凉探空指标站资料。

2　暴雨的环流形势及影响系统

在甘肃陇东地区,民谚有“春雨贵如油”之说,这次暴雨天气过程有 3 个显著特点,一是突破全市暴雨出现最早气象记录;二是初雷暴日即出现暴雨过程;三是暴雨日也是全市春季第一场透雨出现日。

2.1　暴雨的环流形势

3 月下旬后期 500 hPa 极涡中心位于新地岛附近,其底部在新西伯利亚到乌拉尔山东侧形成深厚的准横槽系统,低槽前部为较平直的西西北气流,南支锋区南压至北疆地区,冷空气影响明显。在 3 月 30 日 08:00 500 hPa 图上(图略),青藏高原西部和东北部边缘有两个短波槽生成,到 3 月 30 日 20:00,随着印度高压的北跳,高原西部西北气流得到加强,加之北疆冷平流入侵,使得高原两个短波槽在 95°E、42°~20°N 合并发展成为一个较强的低压槽,温度槽落后于高度槽 2 个纬距,斜压性明显。3 月 31 日 08:00(图 1)到 3 月 31 日 20:00,乌拉尔山东侧横槽南压,新疆脊发展,河套中东部高脊也有所发展,高原中部较深厚低槽系统分裂为南北两段阶梯槽,温压场斜压性进一步发展,槽后到槽区冷平流增强,其中格尔木站 24 h 降温 ΔT_{24}达 -9 ℃,同时槽

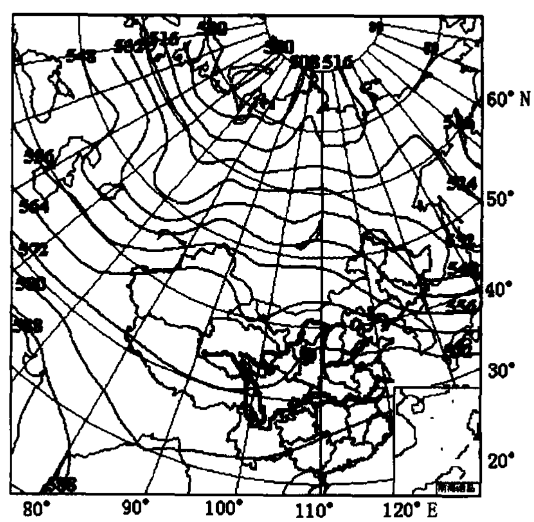

图 1　3 月 31 日 08:00 500 hPa 形势图
(黑点处为庆城县,下同)

作者简介:王位泰,男,1958 年生,高级工程师,主要从事天气分析与应用气候研究,Email: Wangwt@gsma.gov.cn

收稿日期:2004 年 4 月 28 日;定稿日期:2004 年 7 月 7 日

前高原东北侧的西南气流由 6 m•s^{-1}增强至 12 m•s^{-1}。庆城县处在低槽曲率最大和风场切变最强区前方,河套中南部能量、水汽辐合强,上升运动明显,对形成暴雨有利。

2.2　暴雨的主要影响系统

2.2.1　700 hPa 高原东北侧低涡

3 月 30 日 08:00 700 hPa 图上(图略),银川—兰州—合作有一切变线活动,3 月 30 日 20:00,兰州—武都—汉中有低压环流发展,到 3 月 31 日 08:00,低压环流发展成 3040 gpm 低涡系统,风场辐合特征明显;在河套东部地区维持明显的反气旋环流,对其西部天气系统的东移起了阻挡作用,使得低涡维持少动。值得注意的是在河套到河西走廊东部风场的超地转特征显著,风场变化主导低涡生成发展,气压场适应风场演变特征明显。到 31 日 20:00 上述地区基本维持低压环流形势,这对于低层的水汽汇集和动力辐合提供了有利条件,在 500 hPa 槽前西南气流引导下,低涡系统北上造成庆城县暴雨。

2.2.2　地面冷锋

在地面形势图(图略)上,3 月 30 日 08:00 42°N 以北冷高压呈东西向带状分布,新疆冷空气沿河西走廊侵入,冷锋到达银川—兰州—合作,对应 500 hPa 在柴达木盆地有 -9 ℃的 ΔT_{24}降温中心,表征锋后有强的冷平流补充引导冷高压加强东移。到 3 月 31 日 20:00,在张掖附近形成 1020 hPa 冷高压系统,河套地区有较强的低压倒槽维持,冷锋到达盐池—同心—华家岭,移动速度较慢,锋前河套中南部有切变线生成。由于 3 月下旬冷空气活动势力偏弱,河套气温持续偏高 2~3 ℃,锋后有较强雷暴活动,冷锋的动力抬升触发和切变线的动力辐合作用是形成暴雨的影响天气系统之一。

2.2.3　卫星云图特征分析

在卫星云图上(图略)最显著的是 31 日下午锋前河套西部有块状的对流云系生成发展,到傍晚 19:00,东移的高原槽前云系与锋前切变线块状对流云系汇合叠加,造成庆城县暴雨天气。

3　热力与不稳定层结分析

3.1　地面湿静力能量场异常发展

用庆阳市 8 站 14:00 地面观测资料,分析 3 月 29 日至 31 日 14:00 各县区地面湿静力总温度(T_σ)场($T_\sigma = T_s + 1555\ E/p$[1])变化,各站湿静力总温度($T_\sigma$)持续增加,配合河套强盛低压倒槽形势,有高能量舌自东南伸向西北,8 县区 T_σ 均大于等于 40 ℃,30 日 14:00 大值中心出现在镇原,在偏南风引导下,向北输送湿静力不稳定能量,在 3 月 31 日 14:00 地面湿静力总温度图上(图 2),庆城县站 T_σ 增至 49 ℃为最大值中心,环县风向从东南风转为冷锋过境前的静风,镇原站由南风转为西北风,在镇原到庆城县之间出现切变风场,到 3 月 31 日 20:00,环县站由静风转为西北风,中尺度切变辐合加强,为不稳定能量释放提供了动力辐合触发条件。

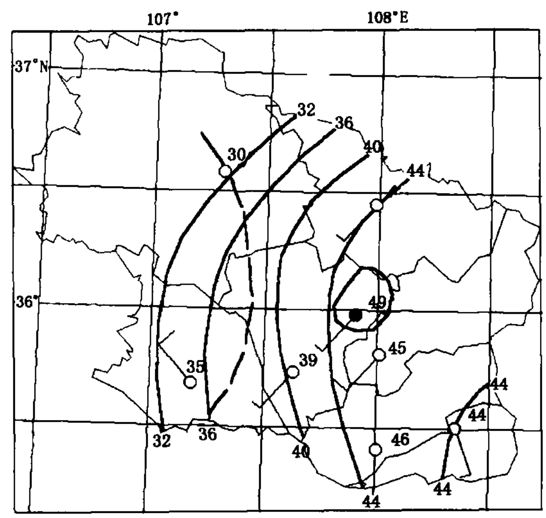

图 2　3 月 31 日 14:00 陇东地面湿静力总温度场
(实线:湿静力总温度,℃;虚线:风场切变线)

3.2　不稳定层结特征

河套中南部 K 指数从 3 月 31 日 08:00 到 20:00 迅速增大,从 20 ℃增大到 28 ℃,并有明显的高值区从关中伸向兰州,表明庆城未来有正的 K 指数平流,大气层结不稳定度还将增强,沙氏指数 3 月 31 日 08:00 到 20:00 向负值平流变化,沙氏指数向接近零值趋势发展,不稳定度增强(图略)。选取平凉站的探空资料,计算沙氏指数、K 指数和 500 hPa 与 700 hPa θ_{se}的差值 $\Delta\theta_{se(500-700)}$(表 1),可看出 30 日 20:00 沙氏指数达到 -5.8 ℃,K 指数达 30 ℃,$\Delta\theta_{se(500-700)}$达 -6.7 ℃,大气层结极为不稳定,在西南气流引导下,向庆阳市区域输送,为庆城县暴雨提供充足的对流性不稳定能量。

500 hPa 河套地区总温度平流场分布为正值(图略),表明庆城县湿静力能量持续增加,有利于暴雨过程的形成;从 θ_{se}场分布看,500 hPa 和 700 hPa

表1 平凉站大气稳定度参数 ℃

	沙氏指数	K指数	$\Delta\theta_{se(500-700)}$
30日08:00	8.0	10	-2.0
30日20:00	-5.8	30	-6.7
31日08:00	1.7	17	0.0
31日20:00	2.7	17	5.2

河套均处在高值区(图略),3月31日08:00从平凉和延安两站间内插得到庆城站$\Delta\theta_{se(500-700)}$为-1℃,达到最小值,表明庆城县区域700 hPa暖湿能量大于500 hPa,已处于整层对流不稳定状态,未来在地面冷锋和锋前切变线作用下触发强对流运动。

4 水汽条件分析

暴雨天气产生的必要条件之一是本地上空要有充足的水汽,持续的水汽输送和水汽累积汇聚过程,尤其是西北内陆地区的陇东黄土高原地区,在干燥的仲春季节显得更为重要。

4.1 水汽输送和汇聚条件

(1)3月31日08:00~20:00 700 hPa水汽通量从小于2 g·(s·cm·hPa)$^{-1}$增加到3 g·(s·cm·hPa)$^{-1}$,高值区伸向河套地区,在偏南气流引导下,水汽通量继续趋向增大(图略)。

(2)水汽通量散度场分布特征是在3月31日08:00~20:00 700 hPa上风方向的临近武都地区,水汽通量散度迅速辐合到-10×10^{-7}g·s^{-1}·cm^{-2}·hPa^{-1}(图略),与700 hPa低涡系统对应,在500 hPa低槽前西南气流引导下影响庆城县,水汽的辐合累积作用增强,500 hPa水汽通量散度场分布在河套地区仍为弱的负值区,反映出水汽辐合在垂直方向较为深厚,有利于整层水汽的累积。

4.2 整层空气饱和特征

由于水汽辐合可以造成湿层的增加,一般湿层厚度达到700 hPa,就有利于暴雨的发生[2],形成暴雨区的水汽集中。并且水汽通量散度场的辐合区域中心出现在庆城县的上风方邻近地区,在西南气流引导下水汽向本区汇集,河套中南部3月31日08:00~20:00 700 hPa相对湿度场由50%迅速增加到90%(图略),接近饱和程度,500 hPa相对湿度也增加到70%(图略),表明庆城县区域上空空气相对湿度持续加大,湿层厚度达到500 hPa,为暴雨的产生提供了良好的水汽环境条件。

5 动力条件分析

5.1 涡度场特征

3月31日08:00~20:00,700 hPa庆城县以南各县区均由弱的正涡度中心增强到20×10^{-6}s^{-1}。同时,500 hPa上在河西走廊的40×10^{-6}s^{-1}正涡度中心与河套东部的-40×10^{-6}s^{-1}负涡度中心相对应,反映了高原低槽与河套高压脊西低东高的有利于大降水产生的环流形势。到20:00庆阳西部到河西走廊均为正涡度区,表征低槽开始影响庆阳市。在200 hPa高空,3月31日08:00~20:00维持20×10^{-6}s^{-1}正涡度区,这种深厚的正涡度分布,有利于较强的对流运动发展。

5.2 散度场特征

在3月31日20:00 36°N(庆城站,35°59′N,107°54′E,下同)散度纬向剖面图上(图3),最大辐合中心出现在108°E 850 hPa庆城站近地面附近,达到-34×10^{-5}s^{-1},庆城站上空辐合运动伸展到400 hPa,400~200 hPa转变为辐散,尤其值得注意的是在200 hPa庆城站西侧104°E处有20×10^{-5}s^{-1}正散度中心,表明随着影响天气系统的东移,庆城站高空的辐散运动还将增强,有利于对流运动的发展和暴雨的形成。

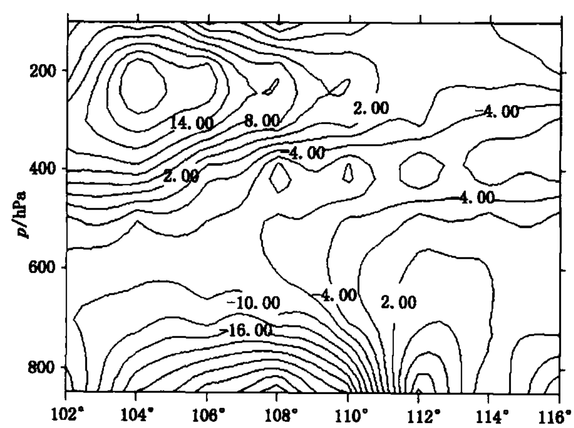

图3 3月31日20:00 36°N的散度剖面图
(单位:10^{-5}s^{-1})

5.3 垂直速度场特征

在3月31日20:00 36°N垂直速度纬向剖面图上(图4),最大上升运动中心出现在庆城站400 hPa上,达到-50×10^{-3}hPa·s^{-1},上升运动伸展到200 hPa以上高空,表明深厚而强烈的上升运动是春季异常偏早暴雨过程产生的重要动力条件。

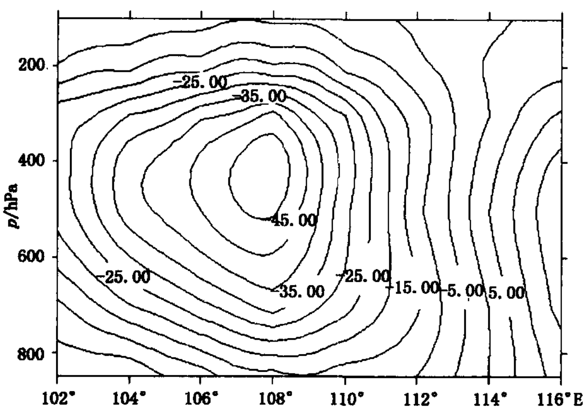

图 4　3 月 31 日 20:00 36° N 的垂直速度剖面图
(单位:10^{-3} hPa·s^{-1})

6　结论

(1) 陇东春季异常偏早暴雨的环流形势与盛夏西太平洋副热带高压西北侧常出现暴雨过程的环流形势不同的是贝加尔湖地区气流较平直,西伯利亚到新疆有东北—西南向准横槽加强发展,有较强冷空气补充,促使青藏高原中东部有深厚的低槽发展,低槽斜压性较强,同时河套及以东地区有高压脊形成,有利于水汽的输送与汇集和冷暖平流的交汇,并使地面冷锋及锋前切变线在较长时间内影响陇东地区,有利于形成暴雨。

(2) 暴雨前冷空气活动弱,地面增温明显,日平均气温异常偏高 3 ~ 4 ℃, 暴雨前 48 h 最高气温达到 28 ℃,地面湿静力总温度接近 50 ℃,500 hPa 上河套地区有较明显的正的总温度平流, K 指数、沙氏指数和 $\Delta\theta_{se\,(500-700)}$ 均有明显反映,暖湿能量的积累和不稳定层结的发展,与暴雨的产生有较好的对应关系。

(3) 水汽输送和辐合,是仲春季节暴雨过程形成的重要条件,在暴雨前 24 h 低空偏南急流水汽输送带不明显,但仍然有西南气流发展,水汽通量持续增大,尤其是 700 hPa 的水汽通量辐合对水汽的汇集作用显得更为重要,在 700 hPa 相对湿度达到 85 % 以上,表征了暴雨过程酝酿形成的水汽条件指标。

(4) 在动力条件上,700 hPa 至 200 hPa 有深厚的正涡度环流,低层 700 hPa 有较强的水平辐合(对应中尺度低压发展),高空 200 hPa 散度场由弱辐合向较强辐散转折变化;700 hPa 至 200 hPa 上升运动有小于等于 -50×10^{-3} hPa·s^{-1} 的上升运动中心配置,河套地区为上升运动区域,是陇东黄土高原出现暴雨天气的重要动力因子。

致谢:本工作得到国家气候中心赵振国研究员指导,深表谢意。

参考文献

1　国家气象局.气象站天气分析和预报.北京:农业出版社,1989
2　丁一汇.高等天气学,北京:气象出版社,1991
3　朱乾根,林锦瑞,寿绍文.天气学原理和方法. 北京:气象出版社,1981 . 452 - 540

Exceptionally Early Heavy Rain Case Study in Eastern Gansu Province

Wang Weitai[1,2]　Li Jinping[2]　Zhang Tianfeng[2]　Huang Bin[2]　Ren Jibang[2]
(1 Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020;
2 Qingyang Meteorological Bureau, Gansu Province, Xifeng 745000)

Abstract: A diagnostic analysis was made of the circulation background, dynamical and thermal and water vapor conditions for a heavy rain event on the 1 April 2004 over the eastern Gansu Province, aiming to find out useful forecasting hints for the sort of heavy rainfall. The results show that the main influencing factors include: temperature increased obviously 48 and 24 hours before raining; surface humid-static energy increased rapidly; there existed strong cold air activity, remarkable mid- and lower-level convection, profound positive vorticity, lower-level low-vortex convergence, and upper-level strong divergence at the end.

Key words: exceptionally early heavy rain, circulation pattern, influencing system