

沙澧河流域两场大暴雨过程的对比分析

胡燕平^{1,2} 田秀霞³ 赵规划² 单铁良²
程锦霞² 王颖² 董羽仑^{1,2} 惠付梅²

(1. 兰州大学大气科学学院, 730000; 2. 河南省漯河市气象局; 3. 河北省邯郸市气象局)

提 要: 利用常规观测资料、自动站资料和 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料对 2007 年 7 月 5 日和 14 日沙澧河流域两场大暴雨过程进行了诊断对比分析。结果表明:不同影响系统下产生的大暴雨过程其动力机制有所差异。垂直螺旋度计算结果显示:两次过程 700hPa 等压面上正垂直螺旋度中心的移向和强度变化与降水落区及趋势变化有很好的对应关系,暴雨区出现在正垂直螺旋度中心移动的前方,对流域大暴雨的落区有一定的指示意义。5 日呈现中低层正、高层负的垂直螺旋度配置,动力条件更有利于大暴雨的发生。湿位涡演变分析发现,5 日中低层既存在对流不稳定,又存在对称不稳定,有利于垂直对流和倾斜对流发生,造成流域大暴雨。14 日中低层大气处于对流稳定状态,但边界层和中层存在对流不稳定,同时中层还存在着较强的对称不稳定,垂直涡度得到较大增长,导致上升运动的加强和水汽的垂直输送,有利于降水增幅。

关键词: 大暴雨 垂直螺旋度 湿位涡 对称不稳定

Comparison of Two Heavy Rainfall Events in Shali River Basin

Hu Yanping^{1,2} Tian Xiuxia³ Zhao Guihua² Shan Tieliang²
Cheng Jinxia² Wang Ying² Dong Yulun^{1,2} Hui Fumei²

(1. Atmospheric Science department of Lanzhou University, 730000;

2. Luohe Meteorological Office, Henan Province; 3. Handan Meteorological Office, Hebei Province)

Abstract: Based on the conventional and automatic observation data, NCEP($1^{\circ}\times 1^{\circ}$) reanalysis data, the causes of two heavy rainfall events occurred on 5 and 14 July, 2007 in Shali river area are diagnosed and analyzed. The diagnostic results show that the dynamic conditions of two heavy rainfall events are different under different influencing systems. The results show that the movement direction and intensity transformation of the positive center of the vertical helicity at 700hPa matches the heavy rainfall regions quite well in two heavy rainfall events. The heavy rainfall center lies on the front of the movement of the vertical helicity center. The vertical helicity value is

positive at lower level while negative at upper level on July 5, whose dynamic condition is more beneficial for the occurrence of the heavy rainfall. The moist potential vorticity analysis indicates that the atmospheric instability at lower level of JUL-5 heavy rainfall event is not only convectively unstable but also symmetrically unstable, which is favorable for the development of both vertical convection and slantwise convection. For the JUL-14 event, the lower level atmosphere is convectively stable and the boundary layer is convectively unstable. At the same time, the middle-level atmosphere is convectively unstable and has obviously symmetric instability, so the slantwise vorticity gets a bigger growth, which leads to the strong ascending movement and the moist air upward transport and makes the precipitation intensity increase.

Key Words: heavy rainfall vertical helicity moist potential vorticity symmetric instability

引 言

沙澧河位于淮河流域上游的河南省中部,不仅是淮河流域的主要支流,也是河南省的重要防洪河道。沙河上游及其支流北汝河、澧河上游,都是河南省的暴雨中心,每年的 7、8 月份是沙澧河流域的主要降水集中时段,也是暴雨和大暴雨的多发季节,洪水来量大,往往造成流域内洪水和淮河流域的洪水。进入 21 世纪以来,沙澧河流域的大暴雨发生越来越频繁,“00.7”、“04.7”大暴雨、特大暴雨,均造成了沙澧河流域严重的洪涝。对 2004 年 7 月沙澧河流域出现的特大暴雨,杨克明^[1]等利用 NCEP 再分析资料计算的锋生函数、螺旋度、非绝热加热等物理参数进行了天气学和动力学诊断分析。胡燕平^[2]等应用常规、加密气象资料及卫星云图资料从影响系统、中尺度雨团、MCC 演变等方面对其进行了成因分析。

2007 年 7 月 4—15 日沙澧河流域 10 天之内连续出现了两场大暴雨过程,这种现象在历史上是非常罕见的。因降水过程持续且降水强度大,两场大暴雨过程均造成沙澧河流域水位不同程度的上涨,但澧河上游的燕山水库于 2007 年建成并投入使用,有效地发挥了拦洪蓄洪作用,使得沙澧河流域有惊无险,大暴雨过程平稳渡过。可是,这两场大暴

雨却给下游淮河流域的防汛形势造成了很大的压力,淮河出现了仅次于 1954 的大洪水。对于淮河流域的暴雨,许多学者进行了研究^[3-8],但研究区域多集中在河南省淮河干流以及安徽省的淮河流域,主要针对河南省黄淮之间淮河流域的重要组成部分,即沙澧河流域的暴雨研究几乎是空白,因此有必要对沙澧河流域的暴雨做进一步分析研究。

本文在采用常规观测资料、自动站资料、卫星云图资料分析 2007 年 7 月沙澧河流域两场大暴雨过程的环流背景与影响系统基础上,进一步运用 NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料计算垂直螺旋度和湿位涡等物理量,对这两场大暴雨进行诊断对比分析,探讨两次过程的动力和热力学机制,以期发现流域大暴雨形成的规律及成因,为今后流域大暴雨提供预报思路。

1 过程概况

2007 年 7 月河南省连续出现了两次大范围降水过程,第一次过程出现在 7 月 4 日 20 时到 5 日 20 时(简称“0705”),降水集中在黄淮之间,大暴雨位于河南东南部的沙澧河流域中东部(图 1a),主要降水时段集中在 4 日夜间,12 小时最大降水量为 155mm;第二次过程出现在 7 月 13 日 20 时到 14 日 20 时(简称“0714”),大暴雨位于河南中南部的

沙澧河流域南部(图 1b),主要降水时段集中在 14 日白天,12 小时最大降水量为 128mm。

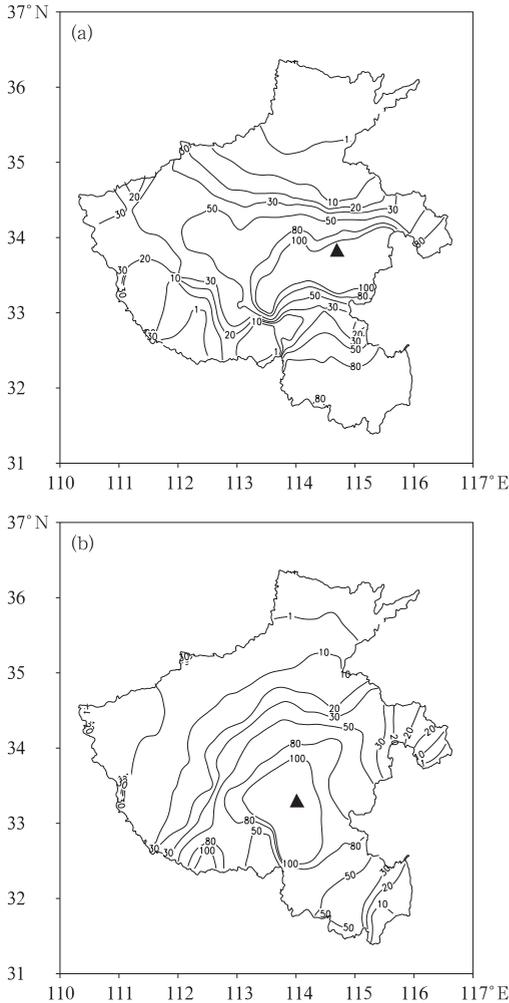


图 1 2007 年 7 月 4 日 20 时至 5 日 20 时 (a)和 2007 年 7 月 13 日 20 时至 14 日 20 时 (b)河南省雨量图(单位:mm) ▲为大暴雨中心

2 环流形势和影响系统对比

从两场大暴雨过程的环流形势和影响系统综合图来看(图 2),两次过程的 500hPa 中高纬均为两槽一脊的环流形势,但低纬东部沿海系统存在差异较大:“0705”过程副热带高压北界位于 30°N,西脊点达 110°E 附近,青藏高原东部有一弱的南支槽位于 105°E 附近。在 500hPa 小槽和副高之间的 700hPa 建立一支

西南低空急流,甘肃和陕西交界处有一低涡,并伴有人字形切变线,其中暖切变位于陕南到河南中部。200hPa 的 40°N 附近维持一条西北东南向的高空急流,急流核中心风速达 $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,沙澧河流域处于高低空急流耦合区内,有利于上升运动的强烈发展(图 2a)。地面在西北地区有冷空气堆积,青藏高原东部到四川盆地为—低压倒槽,沙澧河流域位于倒槽顶部。大暴雨发生期间,5 日 00 时在河南东部生成一条南北向的中尺度辐合线(图 3a),随着西北冷高压前的弱冷空气逐渐向东南方向推进,冷暖空气在河南中部交汇,中尺度辐合线两侧的沙澧河流域中东部出现大暴雨。“0714”过程副高明显偏弱,主体位于 130°E 以东,台风低压位于台湾以东洋面并逐渐向西北方向移动,14 日 08 时贝加尔湖低槽南部的河套地区出现—低涡,沿低涡中心有一经向度较大的低槽,随着低槽逐渐东移,沙澧河流域的西南气流明显加强。700hPa 和 850hPa 在湖北北部均存在一个低涡,暖切变位于湖北中部一带,随着东西向切变转为东北西南向,低涡逐渐沿切变移向沙澧河流域(图 2b)。地面在东北地区维持—高压,台风低压倒槽伸至河南南部,14 日 14 时在河南南部产生一个中尺度辐合中心,伴有中尺度辐合线(图 3b)。随着台风低压转向东移,冷空气沿华北向西南地区侵入,在中尺度辐合中心北部的辐合线两侧出现了大暴雨。

以上分析可见,两次大暴雨过程的影响系统存在较大差异:“0705”大暴雨是南支槽、副高、切变线、高低空急流以及西路弱冷空气、倒槽、中尺度辐合线共同影响产生;“0714”大暴雨是西风槽、低涡切变线以及东路冷空气、中尺度辐合线共同影响产生。

从两次过程的红外卫星云图资料分析来看(图略),“0705”大暴雨期间存在明显的中尺度对流云团,对应的 T_{BB} 低值区呈带状分布在沙澧河流域,随着中尺度对流云团的发展加强,5 日 02 时强降水增幅期显示出中尺度对流复合体的特征,5 日 04 到 06 时中尺

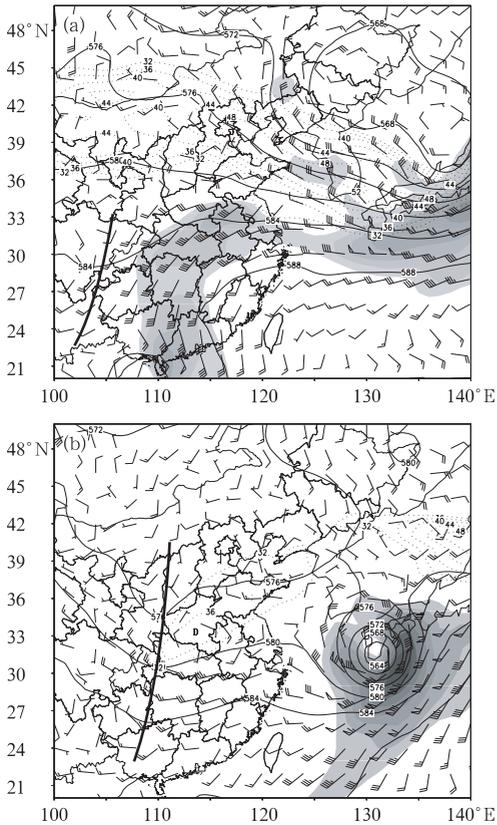


图 2 2007 年 7 月 5 日 02 时(a)和 2007 年 7 月 4 日 14 时(b)高空环流形势与影响系统综合图
虚线:200hPa $\geq 32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等风速线;
细实线:500hPa 等高线,单位:dgpm;
粗实线:500hPa 槽线;阴影区:700hPa $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
的等风速区;风向杆:700hPa 风场

度对流复合体发展成熟,并稳定位于沙澧河流域东部,造成大暴雨。 T_{BB} 值低于 220K 的区域与 100mm 的大暴雨区相对应, T_{BB} 值低于 200K 的中心与大暴雨中心相对应。“0714”过程的中尺度对流系统明显偏弱,大暴雨期间只有分散的弱对流云团生成,与之对应的 T_{BB} 值在 240K 左右。

3 垂直螺旋度分析

螺旋度是一个动力因子,用来衡量风暴入流气流的强弱及沿入流方向的涡度分量大小的参数,从物理本质上反映了流体涡管扭曲的程度,其大小反映了旋转与沿旋转轴方

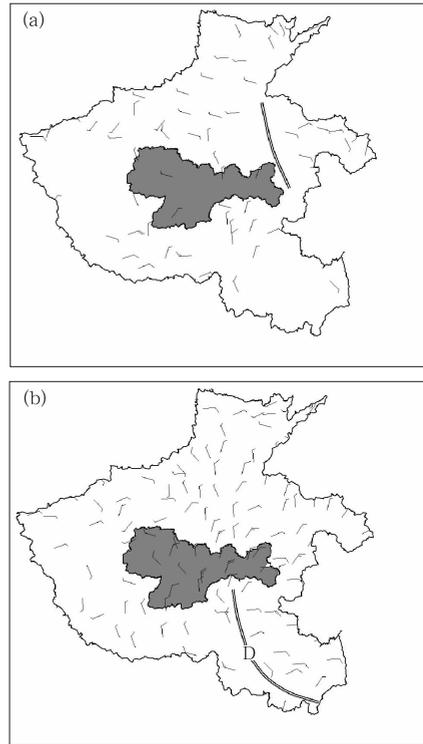


图 3 2007 年 7 月 5 日 00 时(a)和 2007 年 7 月 14 日 14 时(b)地面自动站风场
双实线:中尺度辐合线;阴影区:沙澧河流域

向运动的强弱程度,研究表明螺旋度对暴雨是一个相关性较强的参数^[9-12]。实际工作中,常用垂直方向上的螺旋度进行诊断分析^[10-12],尤红等^[12]对广东特大暴雨垂直螺旋度分析发现,中低层正、高层负垂直螺旋度中心和强度的变化对特大暴雨有明显的影。

3.1 垂直螺旋度的水平分布特征和流域大暴雨落区的关系

分析两次过程各等压面上垂直螺旋度的水平分布特征演变发现,700hPa 上垂直螺旋度的分布与天气系统和暴雨区有较好的对应(图 4)。两场大暴雨发生前,河南中部 34°N 以南地区正的垂直螺旋度均很小,“0705”过程开始前,34°N、110°E 有一个 $2\times 10^{-7}\text{hPa}\cdot\text{s}^{-2}$ 的垂直螺旋度中心;大暴雨开始时,该中

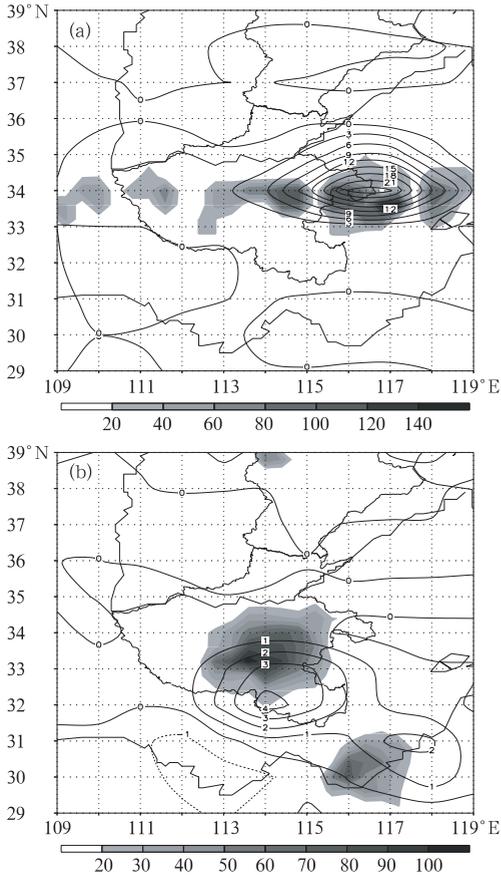


图 4 2007 年 7 月 5 日 02 时 700hPa 等压面上的垂直螺旋度与 2007 年 7 月 4 日 20 时至 5 日 08 时降水量(a)和 2007 年 7 月 14 日 14 时 700hPa 等压面上的垂直螺旋度与 2007 年 7 月 14 日 08 时至 14 日 20 时降水量(b)配置图
 线:700hPa 等压面上的垂直螺旋度,单位: $10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$;
 阴影区:12 小时降水量分布,单位:mm

心向偏东方向移动到 34°N 、 113°E ,并逐渐加强至 $3.5 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,与 700hPa 低涡中心相对应,长轴与切变线走向一致;大暴雨期间(图 4a)该中心继续向偏东方向移动到 34°N 、 116°E ,并激增至 $23 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,流域东部的大暴雨中心位于正垂直螺旋度中心西部约 2 个经距处,正是由于正垂直螺旋度中心自西向东移动并迅速加强的过程中,影响并造成沙澧河流域中东部的大暴雨。“0714”过程开始前,在湖北、安徽、河南三省交界处有一个 $4.5 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ 的正垂直螺旋度中心,位于 700hPa 低涡的东侧。大暴雨

期间(图 4b),正垂直螺旋度中心逐渐向西北方向移动到 32°N 、 114°E ,强度稍减弱为 $4 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,与 700hPa 低涡中心相重叠;随后,该中心继续向偏北方向移动到 33°N 、 114°E ,并逐渐加强到 $5 \times 10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,流域南部的大暴雨中心处于正垂直螺旋度中心附近。以上分析表明,由于两次过程的正垂直螺旋度中心移动方向不同,造成了两次过程大暴雨区域位置及大暴雨中心位置的差异。

3.2 垂直螺旋度的剖面特征

从两次过程大暴雨中心的垂直螺旋度时间—高度剖面图(图 5)中可以看出,“0705”过程(图 5a)开始前,500hPa 以下的中低层为正垂直螺旋度,高层为负垂直螺旋度,4 日 20

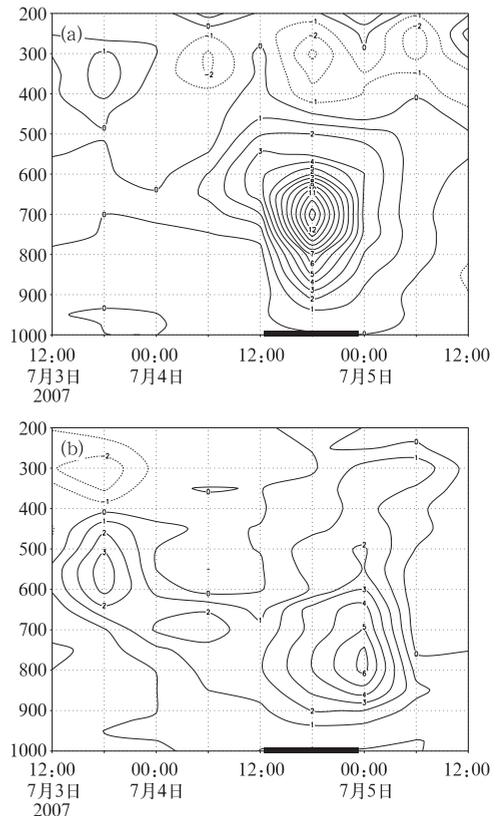


图 5 2007 年 7 月 3 日 20 时至 5 日 20 时 33.6°N 、 114.6°E (a)和 2007 年 7 月 13 日 08 时至 15 日 08 时沿 33.45°N 、 113.6°E (b) 垂直螺旋度的时间—高度剖面
 单位: $10^{-7} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,粗线:降水集中时段

时大暴雨开始时中低层正垂直螺旋度开始迅速增强,同时 400hPa 以上负垂直螺旋度也开始增强;5 日 02 时正垂直螺旋度在 700hPa 达到最强,中心值为 $13 \times 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,此时 300hPa 上负垂直螺旋度也达到最强,中心值为 $-3 \times 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,中低层辐合高层辐散的配置,有利于上升运动的强烈发展,造成该时段降水的增强。5 日 02 时到 08 时,随着中低层正、高层负垂直螺旋度逐渐减弱,流域降水强度也趋于结束。“0714”过程(图 5b)在 13 日 08 时正垂直螺旋度开始增强,中心位于 550hPa 附近;随后正值中心随时间逐渐减弱下传,14 日 08 到 14 时大暴雨发生时,600hPa 以下的正垂直螺旋度逐渐加强;14 日 20 时正垂直螺旋度在 780hPa 达到最强,中心值为 $6 \times 10^{-7} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$,正垂直螺旋度加强的时段刚好和沙澧河流域的降水集中段相对应;14 日 20 时到 15 日 08 时,中低层正垂直螺旋度逐渐减弱时,该时段流域降水也逐渐减弱。

由此可见,“0705”过程中低层正、高层负垂直螺旋度强度变化和“0714”过程正垂直螺旋度的强弱变化与沙澧河流域的降水强度均有很好的对应。不同点在于,“0705”过程的中低层正垂直螺旋度中心强度明显大于“0714”过程,且高层有负垂直螺旋度中心相配合,而“0714”过程从低层到高层则为一致的正垂直螺旋度区域。由此说明,“0705”过程的动力作用比“0714”过程更有利于上升运动的加强和发展,为流域强降水的发生提供了更强大的动力条件,造成“0705”过程 12 小时更大的降水量。

4 湿位涡及对称不稳定分析

湿位涡不仅表征了大气热力和动力属性,还考虑了水汽的作用,所以对湿位涡进行诊断,可以寻求各热力、动力和水汽条件与降水的关系,从而揭示降水发生发展的物理机

制^[9]。近年来,湿位涡较多地应用于暴雨诊断分析^[13-15]。

4.1 假相当位温的垂直分布

从两场大暴雨发生期间相当位温的经向垂直剖面(图 6)来看,“0705”过程开始时, θ_{se} 陡峭密集线位于 $33 \sim 34^\circ \text{N}$ 的暴雨区,暴雨区上空 700hPa 以下的中低层 θ_{se} 随高度减小,为对流不稳定区,500hPa 以上 θ_{se} 随高度增大,为对流稳定区。5 日 02 时(图 6a),暴雨区上空高层的 θ_{se} 高值区呈漏斗状伸向低层到达 850hPa 附近,对流不稳定区集中在 850hPa 以下,暴雨区 950hPa 以下的 θ_{se} 密集带非常陡峭,几乎与等压面垂直,暴雨中心出现在 θ_{se} 陡峭密集区内。随后暴雨区上空 700hPa 以下仍转为对流不稳定区。“0714”过程开始时, θ_{se} 密集区位于暴雨区南部,同时在 500hPa 有冷空气向南侵入,暴雨区上空 600hPa 以下 θ_{se} 随高度增大,为对流稳定区,600~500hPa 之间为弱的对流不稳定区,500hPa 以上为对流稳定区。14 日 14 时(图 6b),中高层冷空气进一步南侵并到达暴雨区近地层,其上空 600hPa 以下仍为对流稳定区,600~500hPa 之间仍为弱的对流不稳定区,随着暴雨区北部的冷空气进一步加强,暴雨区上空的对流稳定区伸展到 500hPa 附近。以上分析表明,两次过程的对流稳定度存在明显的不同,“0705”大暴雨过程的中低层大气为对流不稳定,而“0714”大暴雨过程的中低层大气则为对流稳定。

4.2 湿位涡正压项 MPV_1 的垂直分析

文献[16-17]指出,在北半球,当大气是对流不稳定时,有湿位涡正压项 $MPV_1 < 0$; 对流稳定时,有 $MPV_1 > 0$ 。从两次过程 MPV_1 的经向垂直剖面图(图 6)中可以看出,“0705”过程开始前,对流层高层 39°N 以北有低相对湿度的 MPV_1 高值带向对流层低层倾斜南伸,中低层位于 750hPa、 34°N 的

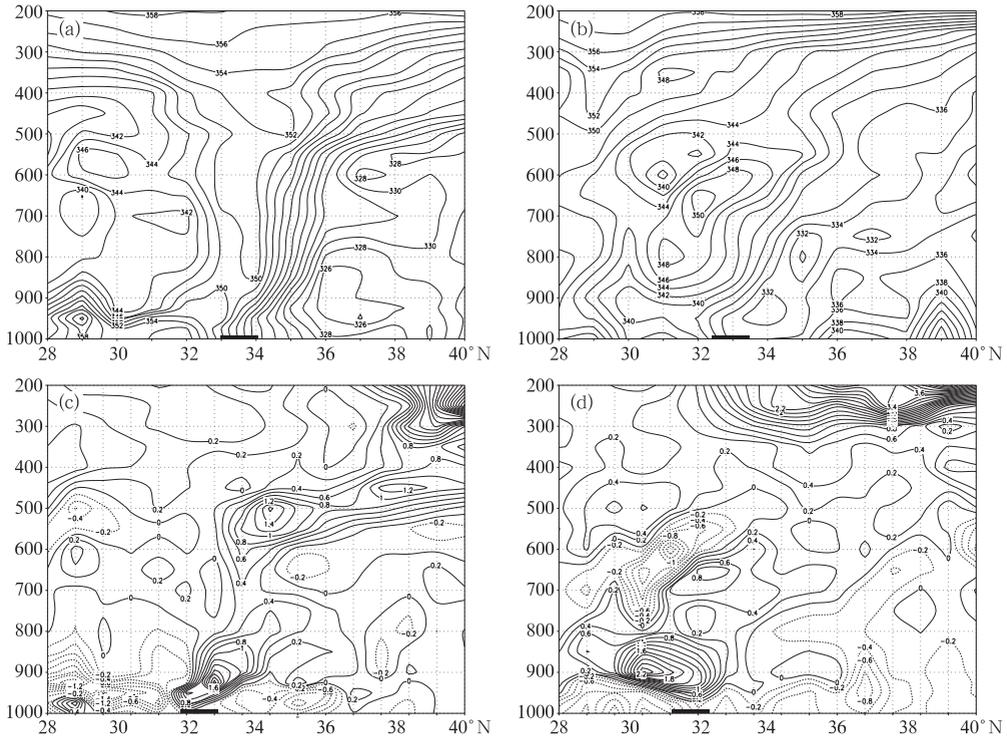


图 6 2007 年 7 月两场大暴雨期间 θ_{se} (单位:K) 与 MPV_1 (单位:PVU) 沿暴雨中心的经向垂直剖面
 (a)2007 年 7 月 5 日 02 时 θ_{se} 沿 114.6°E (b)2007 年 7 月 14 日 14 时 θ_{se} 沿 113.6°E
 (c)2007 年 7 月 5 日 02 时 MPV_1 沿 114.6°E (d)2007 年 7 月 14 日 14 时 MPV_1 沿 113.6°E。粗线:暴雨区

MPV_1 中心强度为 0.6PVU,暴雨区上空 850hPa 以下为对流不稳定区。大暴雨开始时 MPV_1 高值带进一步向南向下侵入近地层,900hPa、34°N 和 950hPa、33°N 均有一个中心强度为 1.0PVU 的 MPV_1 正值区,暴雨区南部 33°N、850hPa 的 MPV_1 负值中心强度达 -1.0PVU,暴雨区中低层处于 MPV_1 负值区边缘。这种高层冷空气以“干侵入”的形式向下入侵到中低层,减弱低层大气的稳定度导致低层气旋性涡度的显著增长,非常有利于上升运动的发展,同时迫使中层暖空气抬升,促使对流不稳定能量释放,造成流域大暴雨。5 日 02 时(图 6c),低层的两个高位涡中心合并加强,中心强度达 2.2PVU,850hPa 的 MPV_1 负中心减弱南压,随着对流不稳定能量进一步释放,暴雨区中低层大气转为对流稳定。

“0714”过程开始前对流层高层 37°N 以

北也有低相对湿度的 MPV_1 高值带向对流层低层倾斜延伸,低层位于 925hPa、31°N 的 MPV_1 中心强度达 1.8PVU,暴雨区 975hPa 以下为浅薄的对流不稳定区域,975~550hPa 之间为 MPV_1 正值区控制的对流稳定区,而在 550~400hPa 的中高层为 MPV_1 负值区控制的对流不稳定区。大暴雨开始时暴雨区上空中高层的对流不稳定逐渐加强,32°N 的 MPV_1 负值中心强度达 -0.6PVU,同时高度下降到 600hPa。14 日 14 时(图 6d),暴雨区上空 950hPa 以下的 MPV_1 负值有所增强,在 34°N 出现 -0.4PVU 的中心,中低层仍为对流稳定区,中层的对流不稳定进一步增强,位于 32°N、600hPa 的 MPV_1 负值中心强度达 -1.4PVU,造成该时段降水的增幅。14 日 20 时暴雨区上空 950hPa 以下的 MPV_1 负值逐渐减弱,中层的 MPV_1 负值中心逐渐南压,强降水也趋于结束。

以上分析可见,两场大暴雨过程都有“干侵入”发生,“0705”过程“干侵入”刚好到达暴雨区的近地层,从而造成暴雨区上空中低层对流不稳定的维持,而“0714”过程的“干侵入”明显偏南,将一部分暖湿空气限制在边界层,造成边界层内浅薄的对流不稳定和不稳定能量的进一步积聚,此外,将另一部分暖湿空气抬升到中层,造成中层的对流不稳定,有利于水汽和能量向高层输送,造成降水的增幅。

4.3 对称不稳定分析

在大气稳定度分析中,常用湿位涡分析条件性对称不稳定,当 $MPV < 0$ 时为对称不稳定, $MPV > 0$ 时为对称稳定。在不稳定、中性或弱的对流稳定大气中,均可以出现对称不稳定^[9]。

分析两次过程 MPV 沿暴雨中心的时间-高度演变(图 7)发现,两次过程 MPV 演变的共同点是在整个强降水期间对流层低层均为 $MPV > 0$ 的对称稳定区,不同点是“0705”大暴雨期间 825~650hPa 之间的中低层为 $MPV < 0$ 的对称不稳定区,中心强度为 -0.2 PVU,而“0714”过程的对称不稳定区在 650hPa 以上的中层,出现层次比“0705”过程明显偏高,且中心强度达 -0.4 PVU,比“0705”过程的对称不稳定明显偏强。

以上分析表明:“0705”过程中低层大气不仅处于对流不稳定状态,同时存在对称不稳定,既可有垂直对流,又可有倾斜对流发生,有利于强降水发生。而“0714”过程中低层大气处于对流稳定状态,边界层和中层存在明显的对流不稳定,同时中层还存在较强的对称不稳定,垂直涡度得到较大增长,导致上升运动的加强和水汽的垂直输送,有利于降水增幅。

5 两场大暴雨的特征对比

综合以上分析,得出两场大暴雨过程的

影响系统及物理量特征差异(见表 1)。

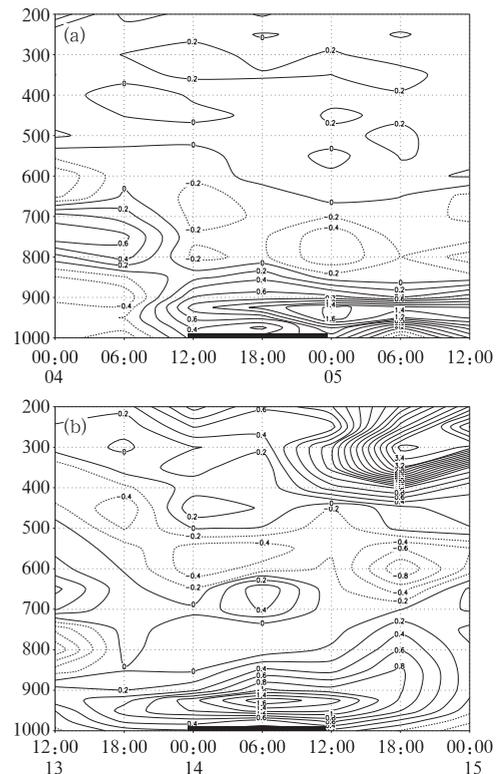


图 7 2007 年 7 月 4 日 08 时至 5 日 20 时沿 $33.6^{\circ}\text{N}, 114.6^{\circ}\text{E}$ (a)和 2007 年 7 月 13 日 20 时至 15 日 08 时沿 $33.45^{\circ}\text{N}, 113.6^{\circ}\text{E}$ (b) MPV 的时间-高度剖面
单位:PVU。粗线:降水集中时段

表 1 两场大暴雨过程的特征对比

	“0705”过程	“0714”过程
大暴雨中心	流域中东部	流域南部
(中高纬)环流背景	两槽一脊	两槽一脊
(低纬)环流背景	副热带高压	台风低压
500hPa 影响系统	南支槽、副高	西风槽
中低层影响系统	切变线、西南急流	低涡、切变线
冷空气路径	西路	东路
中尺度对流系统(中心 T_{BB} 值)	强, $T_{BB} = 200\text{K}$	弱, $T_{BB} = 240\text{K}$
700hPa 上 H_p 正值中心	从西向东移动	从南向北移动
暴雨中心的 H_p 垂直分布	中低层正、高层负	从低层到高层均为正
θ_{se} 的垂直分布	中低层为对流不稳定	中低层为对流稳定
$MPV_1 < 0$ 的层次	850~700hPa	975hPa 以下及 600~500hPa
$MPV < 0$ 的层次	825~650hPa	600~500hPa

6 结论及预报着眼点

通过沙澧河流域不同影响系统下产生的大暴雨过程的动力机制对比分析,得出如下结论和预报着眼点:

(1) 两场大暴雨是由不同的影响系统造成的:“0705”过程发生在副高西北边缘的不稳定区域内,高、低空急流相互耦合,造成中尺度对流系统的发展加强,弱冷空气侵入暖倒槽触发不稳定能量释放,中尺度辐合线附近出现了大暴雨;“0714”过程是在500hPa槽前西南气流引导下低涡沿切变线移出,随着东北冷空气的侵入,流域出现了大暴雨。

(2) 700hPa等压面上正垂直螺旋度中心的移向和强度变化与降水落区及趋势变化有很好的对应关系,大暴雨出现在正垂直螺旋度中心移动的前方,对流域大暴雨的落区有一定的指示意义。中低层正、高层负垂直螺旋度的配置更为大暴雨的产生提供了更有利的动力条件。

(3) 当对流层高层有“干侵入”向对流层低层倾斜延伸到暴雨区附近时,暴雨区的中低层对流不稳定和对称不稳定共存,既可有垂直对流,又可有倾斜对流发生,有利于强降水发生。当“干侵入”到达对流层低层的位置偏南时,对流不稳定和对称不稳定出现在较高的层次,垂直涡度得到较大增长,导致上升运动的加强和水汽的垂直输送,造成降水的增幅。

致谢: 本文承蒙兰州大学的杨德保副教授、河南省气象局李平高工的指导,以及国家气象中心的张芳华与河南省气象局范学峰的帮助,在此深表感谢!

参考文献

- [1] 杨克明,林建,康志明,等. 2004年7月黄淮特大暴雨的天气动力学分析[J]. 高原气象,2006,25(5):781-791.
- [2] 胡燕平,肖刚,惠付梅,等. “2004.7”沙澧河流域特大暴雨成因分析[J]. 气象,2005,31(12):32-35.
- [3] 李国杰,张业雯,徐东明,等. 淮河洪峰与致洪暴雨[J]. 大气科学,1997,21(1):111-117.
- [4] 刘淑媛,郑永光,王洪庆,等. 1998年6月28日-7月2日淮河流域暴雨分析[J]. 气象学报,2002,60(6):774-779.
- [5] 王东升,康志明,杨克明. 2003年淮河流域梅汛期首场大暴雨成因分析[J]. 气象,2004,30(1):16-21.
- [6] 王欢,倪允琪. 2003年淮河流域一次中尺度强暴雨过程的诊断分析和数值模拟研究[J]. 气象学报,2006,64(6):737-742.
- [7] 薛建军,康志明,张芳华. 2003年6月29日至7月2日淮河梅雨锋大暴雨过程诊断分析[J]. 气象,2004,30(1):22-27.
- [8] 矫梅燕,毕宝贵,鲍媛媛,等. 2003年7月3-4日淮河流域大暴雨结构和维持机制分析[J]. 大气科学,2006,30(3):475-490.
- [9] 寿绍文,励申申,姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社,2003:370.
- [10] 岳彩军,寿亦萱,寿绍文,等. 我国螺旋度的研究及应用[J]. 高原气象,2006,25(4):754-762.
- [11] 谭志华,杨晓霞. “99.8”山东特大暴雨的螺旋度分析[J]. 气象,2000,26(9):7-11.
- [12] 尤红,姜丽萍,彭瑞,等. 2005年6月广东特大暴雨垂直螺旋度分析[J]. 气象,2007,33(4):71-76.
- [13] 高守亭,雷霆,周玉淑. 强暴雨系统中湿位涡异常的诊断分析应用[J]. 应用气象学报,2002,13(6):662-670.
- [14] 李国平,刘行军. 西南低涡暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 应用气象学报,1994,5(3):354-360.
- [15] 李耀辉,寿绍文. 一次江淮暴雨的MPV及对称不稳定研究[J]. 气象科学,2000,20(2):171-178.
- [16] 吴国雄,蔡雅萍,唐晓管. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报,1995,53(4):387-405.
- [17] 吴国雄,蔡雅萍. 风垂直切变和下滑倾斜涡度发展[J]. 大气科学,1997,21(3):273-281.