

胡皓,李丽平,王建鹏,等.2016年陕甘宁地区一次强降水的大气环流特征及水汽输送途径[J].干旱气象,2018,36(5):776-781, [HU Hao, LI Liping, WANG Jianpeng, et al. A Case Study on the Heavy Rainfall in Shaanxi-Gansu-Ningxia and Associated Atmospheric Circulations and Water Vapor Channels in 2016 [J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5):776-781], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0776

2016年陕甘宁地区一次强降水的大气环流特征及水汽输送途径

胡皓^{1,2},李丽平¹,王建鹏²,马晓华²

(1.南京信息工程大学大气科学学院,江苏南京210044;2.陕西省气象台,陕西西安710014)

摘要:利用降水常规和加密观测资料以及ERA-Interim再分析资料,对2016年7月24日发生在陕甘宁地区强降雨过程的大气环流特征及水汽输送途径进行诊断分析。结果表明,在对流层高层,陕甘宁地区位于东亚西风带高空急流入口区右侧,辐散显著,通过抽吸作用激发了较强的局地垂直运动。在对流层中层,不断有低槽从低涡底部分裂出来,并携带冷空气南下。对流层低层风场上,850 hPa以下陕甘宁地区为强辐合区,冷暖空气强烈交汇,锋生条件好。此外,850~200 hPa高度,都表现为强烈上升运动。副热带高压向西深入中国大陆,呈东北—西南向分布,副高后部来自孟加拉湾的西南暖湿气流为强降水天气建立了稳定的水汽通道,而来自南海的水汽输送非常弱。

关键词:强降雨;水汽通道;高空急流;副热带高压

文章编号:1006-7639(2018)05-0776-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0776

中图分类号:P458.1⁺21

文献标志码:A

引言

中国西北地区降雨,尤其是极端降雨的成因比较复杂,导致其暴雨预报难度非常大^[1],预报准确率偏低。陕甘宁地区位于中国内陆,水汽含量相对较低,水汽通道的建立对该区域极端强降雨至关重要^[2-5]。如2010年陕西盛夏极端多雨气候与来自南海和孟加拉湾的水汽密切相关^[6]。从东亚季风与陕西降水变化关系分析发现,陕甘宁位于东亚季风的边缘和过渡带,其夏季降水也显著受到东亚夏季风的影响^[7-8]。当东亚夏季风偏强(弱)时,陕西汛期降雨往往表现出北多(少)南少(多)的分布型。在对流层中高层,当乌拉尔山和鄂霍次克海为高压脊、叶尼塞河至新西伯利亚为低压槽时,容易引发冷空气分裂,并沿中纬度西风带东移^[8]。当东移冷空气和从南方源源不断的水汽在陕甘宁地区相遇时,极易导致强降雨的发生。肖科丽等^[9-10]针对西太平洋副热带高压(简称“副高”)对陕西汛期降水的影响研究发现,当副高强度偏弱、脊线偏北、西脊点偏西时,陕西汛期容易偏

涝。从底层发展到中高层的垂直运动是极端强降雨发生、发展的必要条件。此外,陕西汛期降水与西风漂流区海表温度、厄尔尼诺等信号存在密切联系。张宏平等^[11]研究指出,在厄尔尼诺事件当年,陕西夏季降水偏少,易发生干旱;而在厄尔尼诺事件次年,陕西夏季降水偏多,易发生洪涝。毕宝贵等^[12]针对中国地区2016年强对流和极端降水天气特征研究发现,2016年强对流天气尤其雷暴大风和短时强降水天气远超历史同期,为近年来强对流灾害最严重的一年,也是2000年以来极端降水事件最频发的一年。2016年7月23日夜间至25日,中国北方自西向东经历了一轮强降雨过程,降雨从西北地区开始自西向东逐渐发展至内蒙古、华北、东北等地区。本文针对本次强降雨过程对应的大气环流条件和水汽通道建立进行研究分析,力求提高对西北地区暴雨的科学认识,有利于提升西北地区暴雨的预报能力。

1 资料

使用国家气象信息中心提供的2016年7月24日

收稿日期:2017-10-18;改回日期:2018-03-12

基金项目:中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2018-074)和陕西省气象局科学技术研究项目(2017M-2)共同资助

作者简介:胡皓(1984—),男,陕西西安人,高级工程师,研究方向为短期天气预报。E-mail:123723129@qq.com。

通信作者:王建鹏(1972—),男,陕西西安人,高级工程师,研究方向为天气预报。E-mail:xawjp@163.com。

中国地面站逐6 h 降水观测数据和陕西省气象信息中心提供的西安和小寨站逐小时降水量加密观测数据,以及2016年7月23—25日逐6 h ERA-Interim再分析资料中的位势高度场、风场、相对湿度、表面气温、海平面气压场和垂直速度等,水平分辨率 $0.75^\circ \times 0.75^\circ$,垂直分为22层^[13]。

2 强降水的时空变化特征

根据中国气象局强对流监测信息^①,2016年7月24日我国自西南到东北地区(从四川到辽宁)出现了一条强降水带,并伴有雷电,且在强对流带中心陕西、甘肃东南部和宁夏(简称为“陕甘宁地区”)还出现了大风和冰雹(图略)。此次强降水存在两个中心,分别位于陇中北部到宁夏中北部和关中地区。其中,西安市及周边的中心降水更强,多个站点24 h 累计降水量超过50 mm(图1)。从西安站和小寨站的降水加密观测资料(图2)来看,陕西的降水

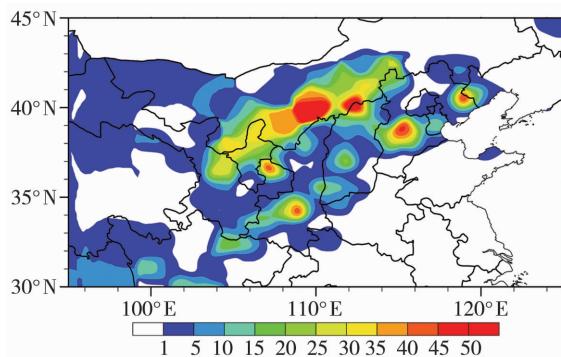


图1 2016年7月24日24 h 累计降水量(单位:mm)

Fig. 1 Accumulative precipitation during the heavy rainstorm process from 00:00 BST 24 to 00:00 BST 25 July 2016 (Unit:mm)

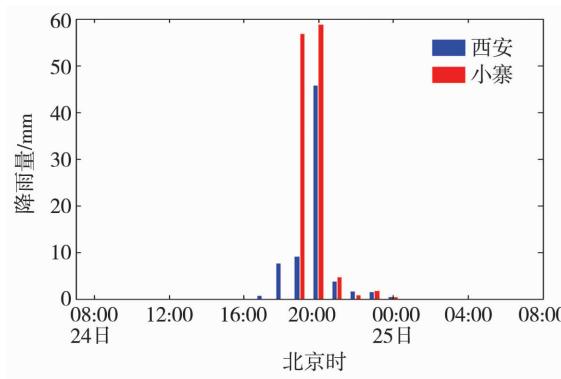


图2 2016年7月24—25日西安和小寨站逐小时降水量演变

Fig. 2 The evolution of hourly precipitation in Xi'an and Xiaozhai stations from 08:00 BST 24 to 08:00 BST 25 July 2016

主要发生在傍晚至前半夜,西安的降水从17:00(北京时,下同)开始。

3 强降水对应的大气环流异常特征

2016年7月24日,在对流层高层200 hPa高度上[图3(a)],东亚西风急流位置较常年偏北^[14],急流核的强度超过 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,高空急流右侧为显著辐散区域,易于引起上升运动,激发强对流活动;同时,我国存在一条从西南向东北地区延伸的高湿带。这条高湿带和辐散区域叠加后与强对流区域吻合很好,为强对流的发生提供了有利的高层环流条件。陕甘宁地区位于高空急流入口区右侧,辐散较强,通过抽吸作用激发较强的局地垂直运动(图4),有利于强降水的发生。在对流层中层500 hPa高度上[图3(b)],我国东北北部的低涡系统非常明显,且相当深厚,可以一直延伸到地面,具备典型的正压结构,稳定少动。该低涡系统与贝加尔湖以西的高压脊相配合,不断有低槽从低涡底部分裂出来,并携带冷空气南下。西太平洋副热带高压的西脊点偏西,向西深入中国大陆,脊线呈东北—西南向分布。高压后部的西南暖湿气流携带源源不断的水汽,从而建立了稳定的水汽通道。需要注意的是,由于青藏高原的阻挡,副高后部 33°N 附近发生形变,这对充沛的水汽进入陕甘宁地区起到关键作用。低层850 hPa风场和湿度场上[图3(c)],陕甘宁地区有显著的冷暖空气交汇和较高的相对湿度,极易于降水;孟加拉湾北上的暖湿气流非常明显,而来自南海的暖湿气流相对较弱。地面形势场上[图3(d)],副高控制下的中国东部地区存在大范围日均气温超过 30°C 的区域,炎热少雨,陕西南部的气温相对于周围也处于偏高状态,这为强对流的发生提供了充足的能量。此外,陕甘宁地区等压线和等温线梯度较大,锋生条件很好,为强降雨的发生提供了很好的近地面层条件。

从陕甘宁地区垂直速度和垂直环流的经向垂直剖面(图4)来看,850 hPa以下为强辐合区,不仅有大量气团积聚,形成质量累积效应,而且有冷暖空气强烈交汇,导致锋生潜势增强;850~200 hPa高度表现为强烈上升运动,是典型的高空急流入口区右侧次级环流形势,为强降水的发生提供了良好的动力条件。另外,整层都存在自南方向暴雨区辐合的气流,这是导致局地整层水汽含量偏高的重要原因,如200 hPa高度上存在明显的湿区[图3(a)]。地面温度偏高,锋生潜势强,导致陕西南部成为能量大值中心[图5(a)],且与西面的能量低值区形成强能量

① 引自国家气象中心《天气公报》

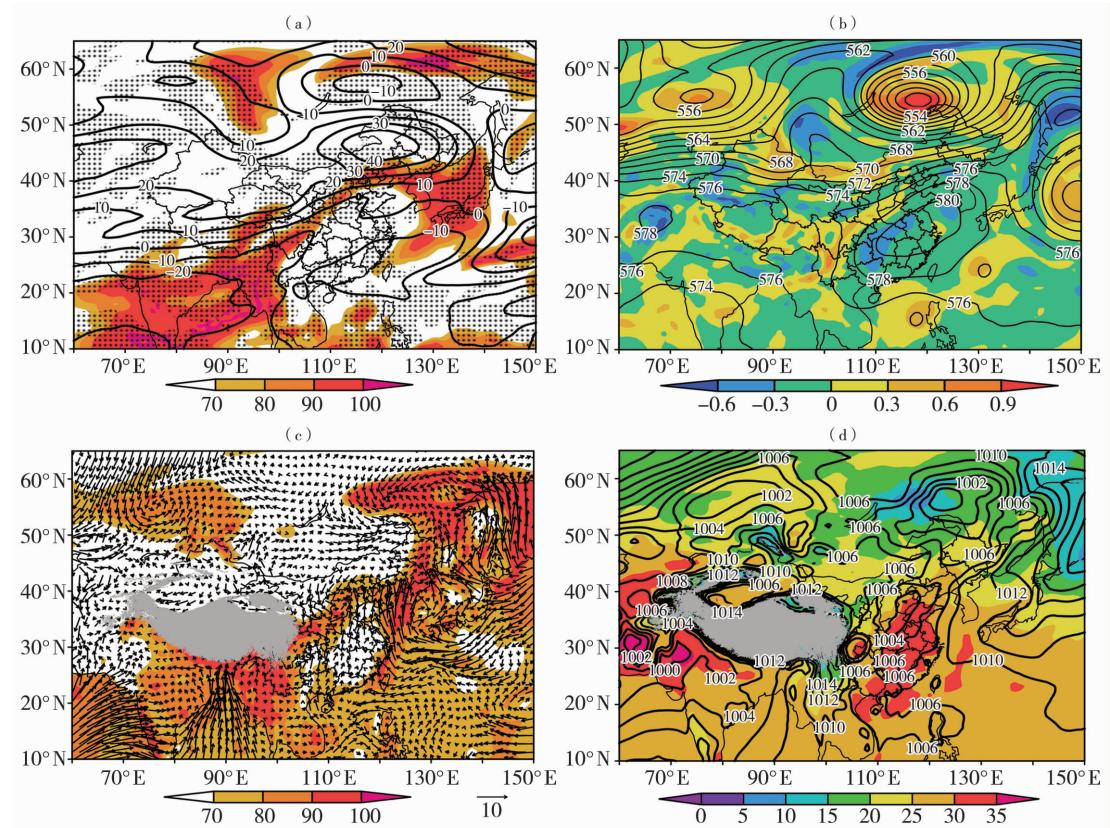


图3 2016年7月24日200 hPa纬向风(等值线,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和相对湿度(阴影,单位:%)(a)、500 hPa位势高度(等值线,单位:dagpm)和涡度(阴影,单位: 10^{-5} s^{-1})(b)、850 hPa风场(矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和相对湿度(阴影,单位:%)(c)以及海平面气压场(等值线,单位:hPa)和表面气温(阴影,单位: $^{\circ}\text{C}$)(d)(黑点代表辐散,灰色阴影区为青藏高原)

Fig. 3 The 200 hPa zonal wind field (contours, Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and relative humidity (shadows, Unit: %) (a), 500 hPa geopotential height field (contours, Unit: dagpm) and vorticity (shadows, Unit: 10^{-5} s^{-1}) (b), 850 hPa wind field (vectors, Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and relative humidity (shadows, Unit: %) (c) and sea level pressure field (contours, Unit: hPa) and surface temperature (shadows, Unit: $^{\circ}\text{C}$) (d) in July 24, 2016 (The black dots represent the divergence, grey shaded area for the Qinghai-Tibet Plateau)

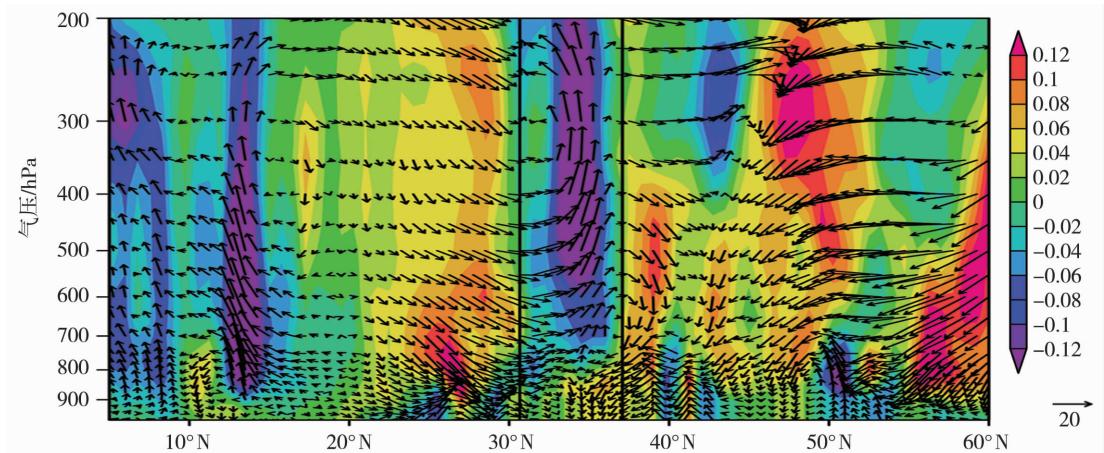
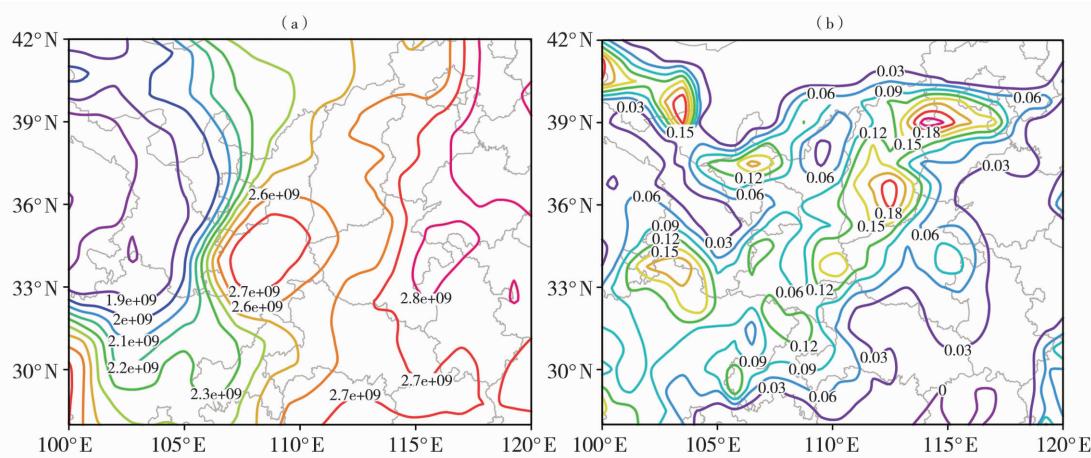


图4 2016年7月24日108°E—110°E范围平均垂直速度(阴影,单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)和垂直环流(箭头)的经向垂直剖面(黑色竖线为暴雨区的纬度)

Fig. 4 The meridional vertical section of mean vertical velocity (shadows, Unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) and vertical circulation (arrows) over 108°E to 110°E on July 24, 2016 (The black vertical lines represent the latitude of rainstorm area)

图 5 2016 年 7 月 24 日 14:00 整层能量(a, 单位: $J \cdot m^{-2}$)和云液态水含量(b, 单位: $kg \cdot m^{-2}$)Fig. 5 The integrated energy (a, Unit: $J \cdot m^{-2}$) and cloud liquid water content (b, Unit: $kg \cdot m^{-2}$) at 14:00 BST on 24 July 2016

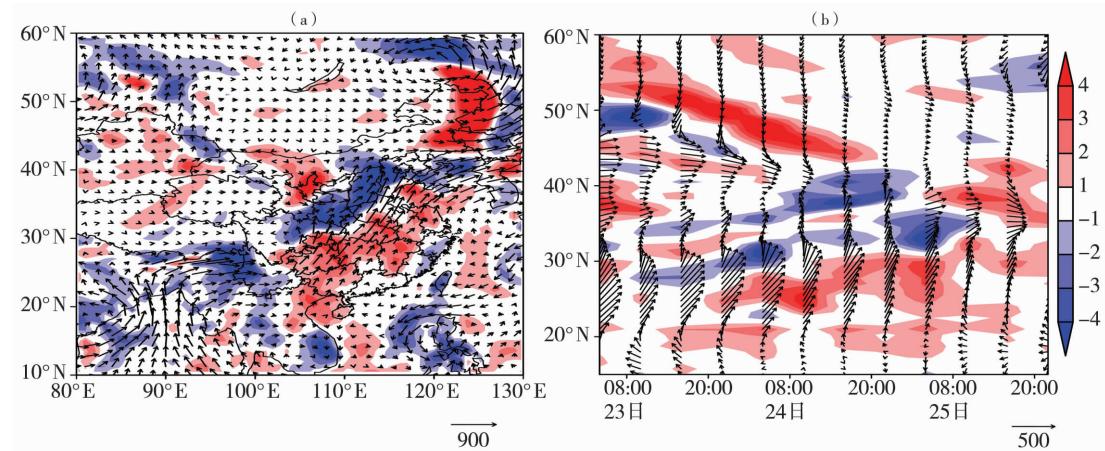
梯度区。能量大值区和“能量锋”的存在,既可以为强对流天气的发生提供充足的能量,也可以保证能量集中释放在陕西中南部,这对于强对流天气的激发和维持非常有利。同时,西南暖湿气流带来的大量水汽有效增加了强对流区的云水含量[图 5(b)],从而提供了短时强降水所需的水汽条件。

4 陕西强降水的水汽输送途径

研究表明,来自南海的水汽输送对 2010 年陕西盛夏极端多雨的形成更为重要,在 850 hPa、700 hPa 上表现都很显著,而来自孟加拉湾的水汽输送相对较弱,仅在 850 hPa 上有显著表现^[6]。那么,2016 年

7 月 24 日强降雨过程的水汽源地在哪里?水汽通道如何建立?

根据前面诊断分析发现,西太平洋副热带高压显著偏西,呈东北—西南向分布,高压的主体占据中国东部的广大地区,导致出现大范围的高温天气。由于西副高的阻挡,来自南海的水汽输送非常弱,南海甚至出现显著的水汽通量辐合区,无明显向外的水汽输送(图 6)。此外,副高的东北—西南向分布,有效引导了来自孟加拉湾的西南暖湿气流,使得水汽输送到东北三省,并在陕西、山西和河北一线形成显著的水汽通量辐合区,这与对流活动最强区域吻合。

图 6 2016 年 7 月 24 日东亚地区整层水汽通量(矢量, 单位: $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$)和散度(阴影, 单位: $10^{-7} g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$) (a) 及 108°E—110°E 范围平均整层水汽通量(矢量, 单位: $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$)和散度(阴影, 单位: $10^{-7} g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$)的经向时间剖面(b)Fig. 6 The integrated vapor flux (vectors, Unit: $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$), vapor flux divergence (shadows, Unit: $10^{-7} g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$) over East Asia (a)and the meridional time section of integrated mean vapor flux (vectors, Unit: $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$), and divergence (shadows, Unit: $10^{-7} g \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$) over 108°E to 110°E (b) on July 24, 2016

针对陕西而言,影响强降水的水汽通量辐合区在23日00:00形成,且位于30°N附近。随后,该水汽辐合区向北移动,并于24日下午到达陕西省境内,且强度显著增强(图6)。然而,由于青藏高原大

地形作用,副高后部33°N附近发生形变,使得从水汽通道的边缘引导出一个分支向北进入陕西省境内(图7),这对水汽进入陕西省起到关键作用。24日02:00,冷空气南缘到达宁夏和甘肃,西南水汽分支

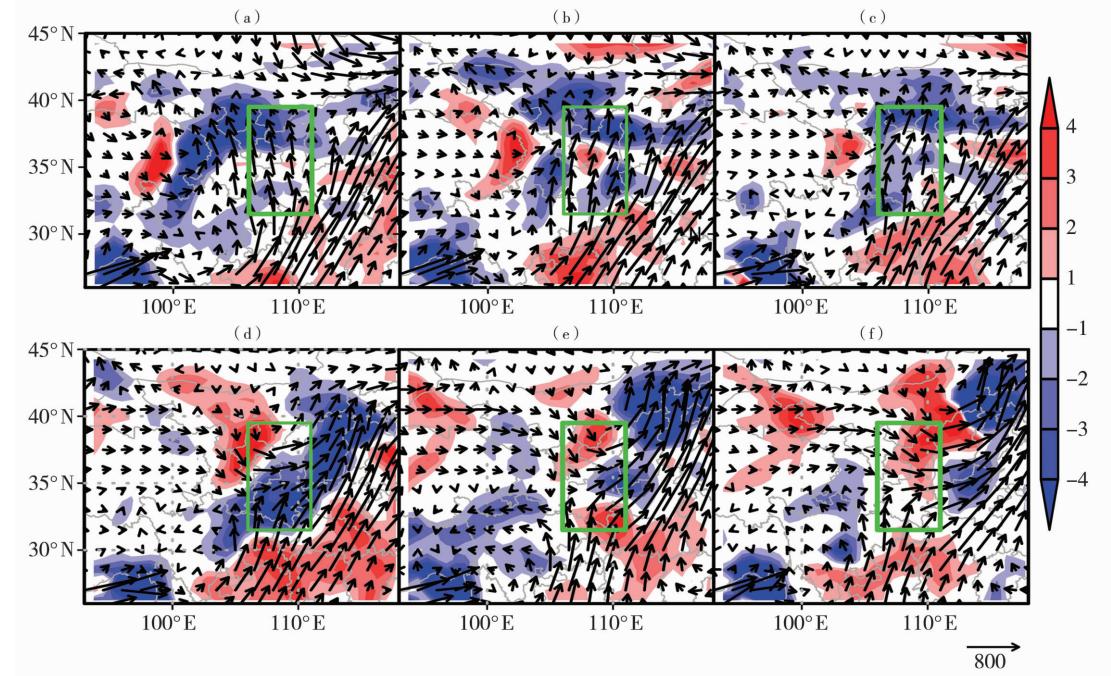


图7 2016年7月24日02:00(a)、08:00(b)、14:00(c)、20:00(d)和25日02:00(e)、08:00(f)整层水汽通量(矢量,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及散度(阴影,单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
(绿色矩形为陕西省位置)

Fig. 7 The integrated vapor flux (arrows, Unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and vapor flux divergence (shadows, Unit: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) at 02:00 BST (a), 08:00 BST (b), 14:00 BST (c) and 20:00 BST (d) on July 24 and 02:00 BST (e), 08:00 BST (f) on July 25, 2016
(The green rectangle for the location of Shaanxi Province)

越过陕西,水汽辐合显著区偏北[图7(a)和图7(b)];随着冷空气南下,水汽辐合区不断向东南方向推进,于14:00进入陕西省境内,降雨随之开始[图7(c)];20:00,冷空气过境宁夏,其境内为显著的水汽辐散,而冷暖空气在陕西、山西和河北一线交汇,形成强烈的水汽通量辐合区[图7(d)],此时是西安市降水最强的时段,小时雨强超过50 mm。此后,冷空气继续南下,水汽通量辐合区移出陕西,陕西境内降雨随之减弱、停止[图7(e)和图7(f)]。由此可见,与2010年汛期降雨不同,本次强降水过程的水汽主要来源于孟加拉湾,而来自南海的水汽输送通道并没有建立。图8概括出了本次强降雨的大气环流和水汽输送。



图8 2016年7月24日影响陕甘宁地区强降雨的大气环流示意图

Fig. 8 Schematic diagram of atmospheric circulation associated with the heavy rainfall in Shaanxi-Gansu-Ningxia area on 24 July 2016

5 结 论

(1) 在对流层高层,陕甘宁地区处于东亚西风带高空急流入口区右侧,为显著辐散区,通过明显抽吸作用激发了较强的局地垂直运动。在对流层中层,东北北部的低涡系统与贝加尔湖以西的高压脊相配合,不断有低槽从低涡底部分裂出来,并携带冷空气南下;副热带高压向西深入中国大陆,呈东北—西南向分布,其后部来自孟加拉湾的西南暖湿气流建立了稳定的水汽通道。对流层低层,陕甘宁地区存在显著的冷暖空气交汇和较高的相对湿度,极利于降水。

(2) 从经向垂直剖面来看,850 hPa 以下为强辐合区,冷暖空气强烈交汇,锋生潜势增强;850~200 hPa 高度上,都表现为强烈上升运动。整层存在从南方暴雨区内辐合的气流,这是导致局地整层水汽含量偏高的重要原因。由于副热带高压的形态和位置,来自南海的水汽输送非常弱,但它有效引导了来自孟加拉湾的西南暖湿气流在陕西、山西和河北一线形成显著的水汽通量辐合。

(3) 影响陕西强降水的水汽通量辐合区在 23 日 00:00 形成,且位于 30°N 附近。随后,该水汽辐合区向北移动,并于 24 日下午到达陕西省境内,强度显著增强,降雨随之开始,20:00 西安市降水达到最强。此后,冷空气继续南下,水汽通量辐合区移出陕西,境内降雨随之减弱、停止。

本文主要从天气尺度的大气环流和水汽输送两方面展开研究,但对于短时强降雨还应增加中小尺度系统的分析^[15]。天气尺度的大气环流是中小尺度天气系统发生发展的背景条件,而中小尺度天气系统是产生短时强降雨的直接原因。因此,下一步将开展陕甘宁地区强降雨相关的中小尺度系统研究,并探讨不同尺度系统在强降雨形成中的作用和联系。

参考文献:

- [1] 于淑秋,林学椿,徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和温度的变化[J]. 气候与环境研究,2003,8(1):9~18.
- [2] 徐栋,孔莹,王澄海. 西北干旱区水汽收支变化及其与降水的关系[J]. 干旱气象,2016,34(3):431~439.
- [3] 惠英,刘晓东,余兴. 2011 年秋季影响陕西关中地区强降水的天气系统及水汽收支分析[J]. 干旱气象,2015,33(4):607~615.
- [4] 马金龙,庞雪琪,杨建玲. 中国西北东部汛期降水主模态的年代际差异及其大气环流特征[J]. 干旱气象,2017,35(6):940~948.
- [5] 张雅斌,武麦凤,侯建忠,等. 陕西 4 次台风远距离暴雨过程的水汽条件对比[J]. 干旱气象,2014,32(5):788~797.
- [6] 肖科丽,王娜,魏娜,等. 2010 年陕西盛夏极端多雨的气候特征及成因研究[J]. 气候与环境研究,2014,19(3):311~320.
- [7] 白爱娟,施能. 东亚冬、夏季风强度指数及其与陕西降水变化的关系[J]. 南京气象学院学报,2004,27(4):519~526.
- [8] 方建刚,肖科丽,王娜,等. 初夏东亚季风强度指数与陕西降水异常关系[J]. 干旱区地理,2014,37(1):1~8.
- [9] 肖科丽,赵国令,方建刚,等. 影响陕西汛期降水空间分布的强信号[J]. 气象科技,2008,36(4):400~403.
- [10] 肖科丽,赵国令,王越,等. 陕西汛期降水时空分布及典型旱涝年环流特征[J]. 气象科技,2006,34(4):410~414.
- [11] 张宏平,徐小红. 厄尔尼诺事件与陕西夏季降水及历史旱涝[J]. 陕西气象,1997(1):18~21.
- [12] 毕宝贵,张小玲,代刊. 2016 年超强厄尔尼诺背景下的强对流和极端降水天气特点[J]. 科学通报,2017,62(9):928~937.
- [13] DEE D P, UPPALA S M, SIMMONS A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137(656):553~597.
- [14] YANG S, LAU K M, KIM K M. Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies [J]. Journal of Climate, 2002, 15:306~325.
- [15] CHEN J, ZHENG Y G, ZHANG X L, et al. Distribution and diurnal variation of warm-season short-duration heavy rainfall in relation to the MCSs in China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2013, 27(6):868~888.

(下转至 793 页)