

鲁西北罕见的秋季连阴雨环流特征分析

于凤英^{1,2} 常 平² 杨学斌²

(1. 山东省气象科学研究所, 济南 250031; 2. 德州市气象局)

提 要: 利用常规天气图资料和 NCEP 提供的 $1^\circ \times 1^\circ$ FNL 分析场资料等, 分析了 2007 年 9 月 26 日至 10 月 7 日鲁西北秋季连阴雨期间大尺度环流及物理量特征。分析表明, 连阴雨期间, 亚欧上空大型环流相对稳定, 乌拉尔山附近维持一稳定的阻塞高压, 西太平洋副热带高压异常偏强, 低纬地区热带气旋活动频繁, 南亚高压和副热带急流位置明显偏北, 亚洲中纬度多短波槽东移, 700hPa 鲁西北及其北侧多维持切变线, 与副热带高压西北侧的西南暖湿气流在黄河中、下游一带持续相互作用, 形成了长达 12 天的阴雨天气。

关键词: 秋季连阴雨 大尺度环流 物理量场特征

Analysis of a Rare Continuous Autumn Rain in Northwest Shandong

Yu Fengying^{1,2} Chang Ping² Yang Xuebin²

(1. Shandong Province Research Institute of Meteorological Science, Jinan 250031;

2. Dezhou Meteorological Office of Shandong Province)

Abstract: Based on the routine weather chart data and NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ FNL grid data, it was analyzed the upper-air circulation and physical features for a rare continuous autumn rain occurring in Northwest Shandong from September 26 to October 7, 2007. It is shown that the large-scale circulation over Eurasia was relatively stable, a stable blocking anticyclone had been maintained nearby the Ural Mountains, the subtropical high pressure of the West Pacific was extraordinary strong, tropical cyclones were generated in the low-latitude zone frequently, the positions of South Asian high and subtropical westerlies jet stream were obviously further north than normal, the short-wave trough was continuously split up to move toward east in mid-latitudes of Asia, and the southwest warm wet air currents of the northwest of the subtropical high continued to interact in the mid and lower reaches of the Yellow River, thus formed the 12 day-long overcast and rainy weather.

Key Words: continuous autumn rain large-scale circulation physical feature

引言

有关连阴雨天气的研究比较多。例如方建刚等^[1]分析了陕西省2003年秋季连阴雨降水的特征和形成秋季连阴雨天气的天气学、热力学特点。林纾等^[2]在比较西北地区中东部2000年和2001年秋季连阴雨天气过程后,分析了西太平洋副热带高压和海温对西北地区中东部秋季连阴雨的影响,总结出西北地区中东部连阴雨出现时亚欧500hPa候环流特征。程鹏等^[3]应用等熵位涡原理,对2005年5月中旬西北地区东部的一次连阴雨过程进行了诊断分析。施宁等^[4]分析了长江中下游春季连阴雨过程中热带和副热带系统的基本特征,讨论了厄尔尼诺年热带和副热带异常的环流背景以及对长江中下游过渡季节持续降水的影响。杨利霞等^[5]指出了2005年陕西汉中市秋季连阴雨的天气形势是,西风带长波系统稳定少动;西太平洋副高强度强盛,低纬多台风活动。在以往的研究中,人们对长江中下游春季连阴雨和华西秋雨都作了不少研究,而对华北一带秋季连阴雨研究较少。文章通过对2007年鲁西北秋季罕见的连阴雨过程分析研究,揭示了连阴雨期间大尺度环流和物理量场特征,为鲁西北秋季连阴雨的中期天气预报和秋季气象服务提供参考。

1 天气实况与资料说明

鲁西北指 $36^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$ 、 $115^{\circ}\sim 118^{\circ}\text{E}$ 范围内黄河下游北侧的山东西北部地区,该区位于华北平原南部。2007年9月26日至10月7日,鲁西北出现了连续阴雨天气,持续时间之长,连续降水日数之多均为历史同期罕见。据统计,鲁西北的德州、聊城、滨州三市26个气象观测站平均降水日数为11天,比常年同

期偏多8~10天,平均降水量61.5mm,是常年同期的3倍,茌平站降水量最大为101.6mm。平均日照时数5小时,仅为常年同期的5%左右。日平均气温较常年同期偏低 1°C 。据国家气候中心统计,这次连阴雨的范围覆盖了我国西北地区中东部、华北大部、黄淮东北部及西南东部等地,从9月26日至10月14日,降水日数一般为10~19天,普遍比常年同期偏多5~10天,降水量比常年同期偏多2~5倍^[6]。

连续阴雨、低温、寡照,造成农田土壤过湿、空气湿度过大,对秋作物收获晾晒造成严重危害,使部分玉米等作物发生霉变、发芽,棉花烂桃,产量和品质受到严重的损失;苹果等水果产量和品质及蔬菜生长也受到较大影响;特别是枣类损失惨重,由于未到采摘旺季,大部分未采收,烂在树上发霉变质,即使采摘后的小枣,也因不能晾晒,浆烂现象严重。连续阴雨,造成小麦播种出苗期较常年普遍偏晚10~15天,使得小麦冬前生长时间缩短,积温不足。这次罕见的连阴雨天气过程对鲁西北造成的直接经济损失达10亿元以上。

本文选用山东西北部的德州、聊城、滨州市三市26个气象观测站的降水资料和实时天气图资料,以及亚欧500hPa高度候平均资料。500hPa高度场常年平均值选用山东省气象台提供的1951—1980年30年北半球500hPa平均高度资料;西太平洋副热带高压的特征量资料源于国家气候中心气候预测室;其他资料来源于NCEP提供的 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ FNL分析场资料。

2 连阴雨期间大尺度环流特征

2.1 乌拉尔山阻塞高压异常偏强

长时间的连阴雨是在大型环流形势相对稳定的背景下,影响降水的天气系统重复出

现的结果。分析表明,这一次连阴雨天气过程与 500hPa 乌拉尔山阻塞高压、副热带高压异常等存在密切关系,而它们的异常又与热带系统的相对活跃,高空急流的异常相关联。

图 1 是连阴雨期间 9 月第 6 候至 10 月第 1 候亚欧 500hPa 平均高度场及距平场,可以看出连阴雨期间,亚欧上空环流为乌拉尔山阻塞高压型^[7],欧洲北部到乌拉尔山附近为阻塞高压,对应的高度距平场上,该区域是一中心值为 22dagpm 正距平区,反映出乌拉尔山附近 500hPa 高度比常年同期异常偏高,而且长时间稳定。阻塞高压可以影响大范围地区的天气和气候,它的长时间持续可以给大范围地区带来干旱和连阴雨,造成气候异常^[8]。由于乌拉尔山阻塞高压的建立和

维持,脊前从里海到伊朗高原为一宽广稳定的低槽区,在高度距平场上是中心值为 -4dagpm 的负距平区与之对应,表明该地区 500hPa 高度明显比常年同期偏低。亚洲中纬度地区环流平直,从伊朗高原东部经青藏高原到华北中南部为一致的西南偏西气流,西太平洋副热带高压异常偏强,控制青藏高原东南部到黄淮流域及以南区域,呈东西带状,鲁西北地处它的北缘。正是由于亚洲西部大低槽内不断分裂的短波槽携带弱冷空气东移,在低层 700hPa 和 850hPa 河套附近的浅槽东移或鲁西北及其北侧稳定少动的切变线,与副热带高压西北侧的西南暖湿气流在黄河中下游一带相互作用,造成这次长时间连阴雨。

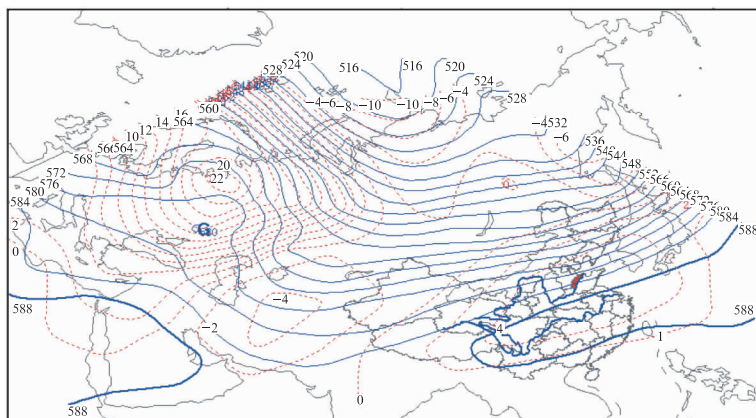


图 1 2007 年 9 月 26 日至 10 月 5 日 500hPa 平均高度场(实线)和高度距平场(点线)(单位:1dagpm)

2.2 副热带高压异常偏强

按照一般气候规律,9 月上旬副热带高压脊线南退到 25°N 以南,10 月上旬达到 20°N 以南^[7]。近 10 年(1997—2006 年)9 月份西太平洋副热带高压脊线平均位置在 26°N,北界位置 31°N。2007 年 9 月下旬至 10 月上旬西太平洋副热带高压势力依然强大,呈东西带状分布,588dagpm 线控制着我国黄淮及以南的广

大中东部区域,最西伸到 95°E 附近(图 2a),在高度距平场上这一区域为 4dagpm 的正距平(图 1),明显比常年同期偏强。9 月 26 日至 10 月 5 日,120°E 附近的脊线位置一直稳定在 28°~31°N,588dagpm 线北界在 33°~35°N 摆动(图 2b),比常年同期明显偏北,均比近 10 年平均值偏北 2~4 纬距以上。

2007 年 9 月份副热带高压脊线和北界位置,分别为 30°N 和 36°N,比近 10 年平均

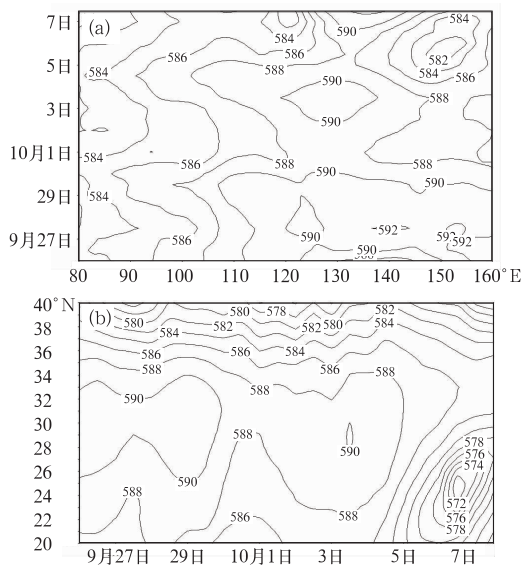


图2 2007年9月26日至10月5日500hPa高度沿29°N(a)和120°E(b)的时间剖面图(单位:dagpm)

值分别偏北4纬距和5纬距。历年9月26日至10月10日500hPa济南高度常年值为575dagpm^[9]。连阴雨期间,济南500hPa高度在582~587dagpm之间(表略),平均值为584dagpm,比常年同期偏高9dagpm。反映出这一时段,西太平洋副热带高压异常偏强,鲁西北位于副热带高压588dagpm线北侧2~3纬距范围内,来自副热带高压西北侧源源不断的西南暖湿气流为长时间连阴雨提供丰沛的水汽条件。

2.3 低纬地区热带气旋活动的影响

9月末到10月上旬,副热带高压南侧的低纬度地区热带气旋十分活跃,先后有两个热带气旋生成、发展、移动和消亡。在南海中部生成的热带低压,9月30日加强为15号热带风暴利奇马,10月2日加强成为台风,并在海南三亚市附近沿海登陆后,向偏西方向移动,4日深入中南半岛内陆。生成于西太平洋洋面上的第16号热带风暴罗莎,10

月2日加强为超强台风,一直向西北偏北方向移动,8日中心移至29.3°N、122.4°E。副热带高压南侧的低纬度地区热带风暴活跃,维持时间长,为阻止副热带高压迅速南落起到关键性的作用。正是由于副热带高压异常强大,位置偏北,相对稳定,使黄河中、下游一带长时间处于其西北侧强盛的西南暖湿气流控制,为连阴雨持续提供了充足的能量和水汽条件。

2.4 高层环流特征

连阴雨期间对流层上部100hPa南亚高压(图3a)呈东部型,而且异常强大,稳定地控制在我国中、南部上空,高压中心在90°E以东,平均脊线位置维持在28°~31°N,较9月份常年位置28°N^[10]偏北1个多纬距,13日前后南亚高压迅速减弱南移,连阴雨结束,控制在我国中、南部大陆上的完整闭合高压消失。

根据110°E 12km最大风速轴而确定的副热带急流多年月平均位置,9、10月分别位

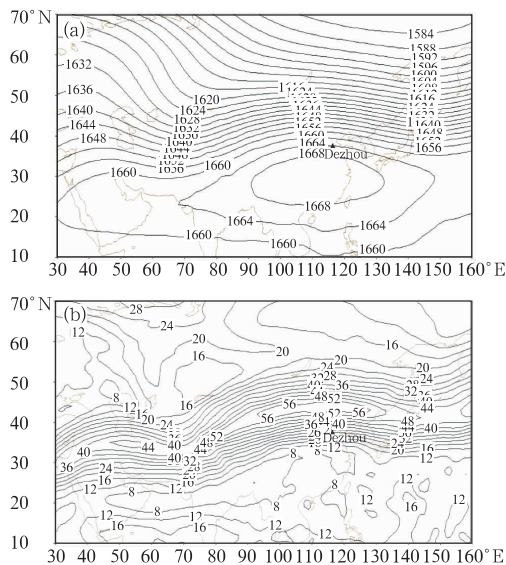


图3 2007年9月26日至10月7日100hPa平均高度场(a)和200hPa平均风速场(b)
高度单位:dagpm; 风速单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

于 39°N 和 34°N ^[10]。在连阴雨期间 200hPa 平均风速图上(图 3b), $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 附近维持一支宽广的副热带西风急流带, 中心风速达 $60\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 110°E 附近副热带急流中心稳定维持在 44°N , 比常年同期偏北 $5\sim 10$ 纬距; 华北中、南部上空位于这支急流带的南侧, 正是由于这支强大的副热带急流带的存在和稳定, 十分有利于中、低空产生降水的低值系统的维持和发展以及能量、水汽的输送, 为连阴雨提供了必要条件。

3 连阴雨期间短波槽及流场特征

3.1 短波槽活动特征

连续短波低值系统的频繁活动是造成这次长时间连阴雨的主要原因。为了反映连阴雨期间中尺度系统活动的特点和与副热带高压短期变化的关系, 分析沿 117°E 700hPa、500hPa 高度场的时间-纬度剖面图(图 4)。图 4 清楚地反映了连阴雨期间是由 9 月 26

—27 日、9 月 29 日至 10 月 1 日、10 月 4—7 日三次短波槽影响, 副热带高压总体相对稳定, 有三次减弱东退和两次加强西伸短期变化过程, 588dagpm 线北界在 $33^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 摆动(图 2b, 图 4b)。同时 9 月 29 日和 10 月 4 前后副热带高压与西风带高压叠加形成南北向高压脊, 对减缓低槽移速和暖湿气流的向北输送十分有利。

3.2 流场特征

分析连阴雨期间上空流场显示, 500hPa, 鲁西北位于副热带高压西北侧, 以 W—SW 气流为主; 700hPa, 鲁西北北侧维持近 E—W 向切变线, 鲁西北除 9 月 28 日和 10 月 2—3 日为 N—NW 气流外, 其余时段为一致的 W—SW 气流(图 5a); 850hPa, 鲁西北西北侧多维持 NE—SW 向切变线, 鲁西北除 9 月 27—28 日和 10 月 7 日为 NE 气流、10 月 2—3 日为 N—NW 气流外, 其余时段为 SW 气流(如图 5b); 1000hPa, 除 10 月 5—6 日为 S、N 风交替出现外, 其余时段以 NE—SE 气流为主。连阴雨期间主要为回流性降水, 即 700hPa 以上的西南暖湿气流在低层回流干冷空气下垫面上爬升的形势(图 5d)。700hPa 鲁西北 SW 气流与降雨集中时段相对应, N—NW 气流与降水间歇时段相对应。

分析 850hPa 沿鲁西北中部 117°E (图 5b)和 37°N (图 5c)流场的时间-纬度和时间-经度剖面图, 可以发现, 26—27 日 SW 风与 NE 风辐合线由西北向东南推进影响鲁西北, 27 日 20 时前后向东南移出鲁西北, 28 日鲁西北处于 NE 风与 SE 风的辐散带内, 29 日 20 时 SW 气流建立, 至 10 月 1 日 20 时持续 SW 气流, 形成 SW 风与 NW 风的辐合带, 之后至 3 日 08 时 NW 气流由西北向东南推进控制鲁西北, 3 日 20 时至 6 日 08 时鲁西北为一致的 SW 气流, 6 日自西北向东南先

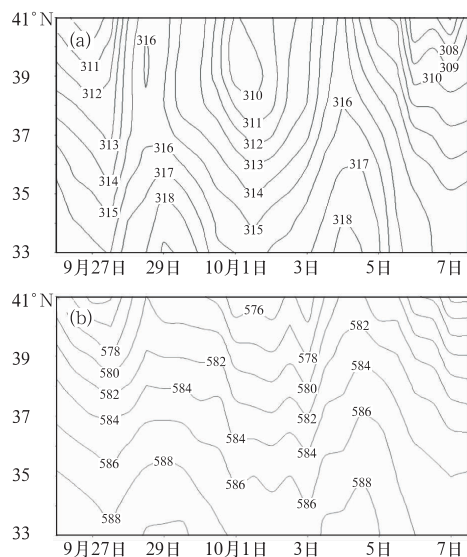


图 4 2007 年 9 月 26 日至 10 月 7 日
700hPa(a)和 500hPa(b)高度场沿
 117°E 的时间-纬度剖面图
单位: dagpm

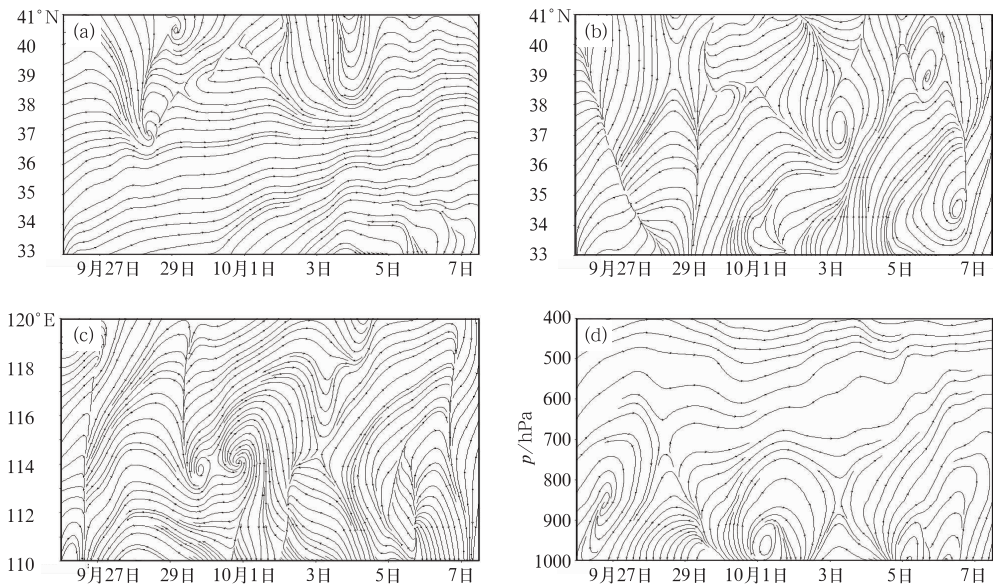


图5 2007年9月26日至10月7日700hPa流场(a)、850hPa流场(b)沿117°E的时间-纬度剖面图;850hPa流场沿37°N的时间-经度剖面图(c);经过37°N、117°E流场的时间-高度剖面图(d)

后形成SW风与NE风切变线,6日20时后NE气流由西北向东南迅速推进,至7日08时鲁西北被NE气流所控制。由此可以看出,降水集中时段与850hPa辐合线、切变线或SW气流影响相对应,降水间歇时段与850hPa辐散和NW气流相对应;连阴雨期间850hPa有三次冷空气影响鲁西北,分别是9月28日、10月2—3日和7日。

3.3 垂直运动

图6是鲁西北上空经过37°N、117°E的垂直速度的时间-纬度和时间-高度剖面图,反映了连阴雨期间鲁西北上空垂直运动的情况,显示了在9月26—27日、9月29日至10月1日和10月4—7日降水集中时段都与700hPa垂直上升运动区有着密切配合。9月26—27日垂直上升运动最强,从地面一直达到400hPa附近,中心在700hPa附近,数值达 $-4.5 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,对应降雨强度也最大;9月29日至10月1日和10月4—7日

的降水过程,700hPa上均有明显的垂直上升运动,850hPa以下低空均为下沉运动,这与

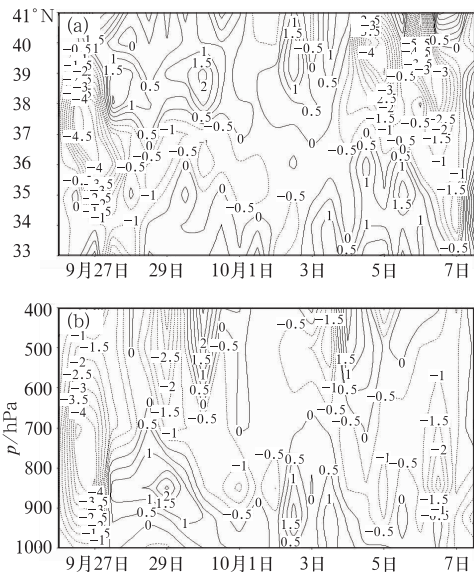


图6 2007年9月26日至10月7日700hPa沿117°E垂直速度的时间-纬度剖面图(a)和经过37°N、117°E垂直速度的时间-高度剖面图(b)(单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

低层冷空气活动而形成的反气旋环流有关,降水过程是 700hPa 以上的暖湿气流沿着低层冷空气垫向上爬升而形成大范围、连续性的降水。而 9 月 28 日和 10 月 2—3 日降水间歇时段,从地面到 700hPa 附近维持下沉运动,700hPa 以上维持弱上升运动。

3.4 水汽条件

长时间的连阴雨必须有源源不断的水汽供应,通过对连阴雨期间上空湿度场分析,显示在 700hPa 上从我国西南一直伸向黄河下游为一宽广的高湿度区,相对湿度 90% 的中心一个在汉水流域,另一个在黄河下游一带(图 7a)。同样,700hPa 平均水汽通量场的分布也显示从我国西南伸向黄河下游为一西南—东北向的水汽输送通道,大于 $8\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 平均水汽通量高值中心在鲁

西北附近(图 7c)。在降水强度比较大和降水比较集中的 9 月 26—27 日和 9 月 29 日至 10 月 1 日,上空湿层深厚,相对湿度大于 90% 的湿层一直延伸到 500hPa 以上(图 7b);同时,水汽辐合明显,水汽辐合向上伸展到 500~600hPa,其中最强的水汽辐合中心出现在 26 日 20 时 925hPa,中心值为 $-50 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ (图 7d),相应这时降雨强度也最大。而 10 月 4—7 日降水过程,由于湿层比较浅薄,水汽辐合强度偏小,而且主要集中在 700hPa 以下的低空,相应降水也偏弱。

降水间歇时段 9 月 28 日前后和 10 月 2—3 日从地面至 700hPa 相对湿度小于 80%,从地面到高空为一致的水汽辐散(图 7b、图 7d)。

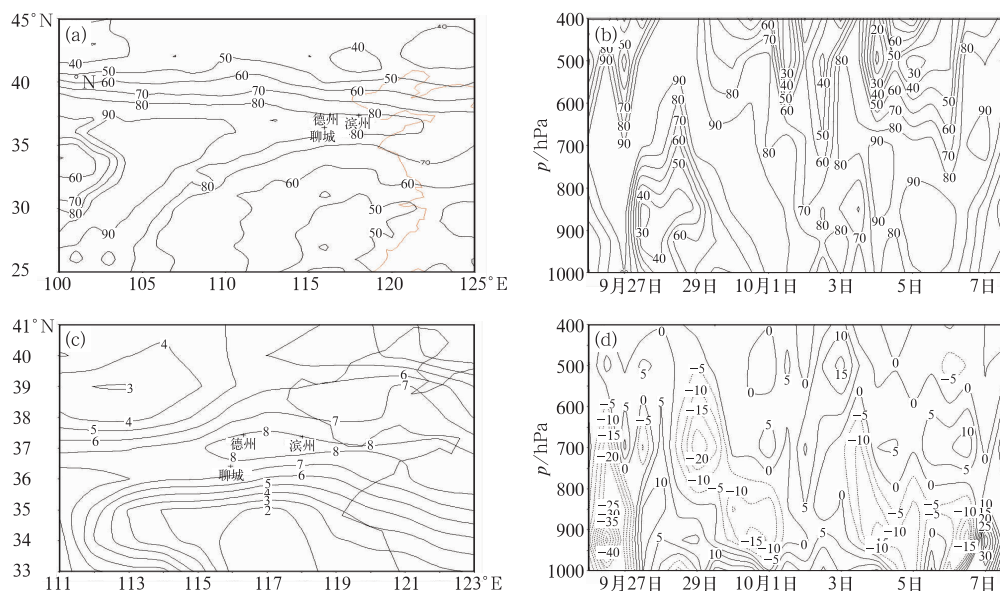


图 7 2007 年 9 月 26 日至 10 月 7 日 700hPa 平均相对湿度(a)和平均水汽通量(c)、

经过 37°N 、 117°E 相对湿度(b)和水汽通量散度(d)的时间-高度(hPa)剖面图

相对湿度单位:%;水汽通量单位: $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$;水汽通量散度单位: $10^{-6} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$

4 结论

(1) 这次异常连阴雨天气过程的发生是不同尺度、不同性质的天气系统相互制约又相互作用的结果。连阴雨期间,大型环流相对稳定,产生降水的天气系统连续影响,是产生长时间连阴雨关键原因。

(2) 乌拉尔山阻塞高压的建立和维持是整个欧亚上空大型环流稳定的基础。亚洲中纬度多短波槽东移,是阴雨天气持续的重要动力条件。同时高空副热带急流带的存在和稳定,有利于低空低压系统的维持、发展和能量、水汽的输送,以及高层辐散、低层辐合场的迭置为连阴雨提供了必要的环境场条件。

(3) 副热带高压异常偏强、位置偏北,其总体相对稳定,有三次减弱东退和两次加强西伸短期变化过程,其西北侧强盛的西南暖湿气流为连阴雨持续提供了充足的能量和水汽条件。

(4) 副热带高压南侧的低纬度地区热带气旋活跃、维持时间长,为阻止副热带高压迅速南落起到关键性的作用。

(5) 这次长时间连阴雨是由切变线和西风槽相继影响而形成降水天气过程,主要为回流性降水,即 700hPa 以上的暖湿气流在低层回流干冷空气上爬升的形势。

(6) 连阴雨期间不仅有来自我国西南丰

沛的水汽来源,在降水强度大、降水时间集中时段均有深厚的湿层和明显的水汽辐合及垂直上升运动配合。在降水间歇时段,700hPa 以下维持下沉运动,地面至 700hPa 相对湿度小于 80%,地面至高空为一致的水汽辐散。

参考文献

- [1] 方建刚,白爱娟,陶建玲,等. 2003 年陕西秋季连阴雨降水特点及环流条件分析[J]. 应用气象学报, 2005,16(4):509-517.
- [2] 林纾,章克俭. 西北区中东部 2000 年与 2001 年秋季连阴雨分析[J]. 气象,2003,29(2):34-38.
- [3] 程鹏,赵庆云,李江萍,等. 西北地区东部一次连阴雨过程等熵位涡分析[J]. 干旱气象,2007,25(1):58-62.
- [4] 施宁. 长江中下游春季连阴雨及厄尔尼诺年的环流背景[J]. 气象,1990,16(12):8-14.
- [5] 杨利霞,杨晓永,王国栋. 2005 年汉中市秋季连阴雨的若干特征[J]. 陕西气象,2006(3):1-3.
- [6] 张涛. 北方罕见连阴雨南方大范围秋旱[J]. 气象, 2008,34(1):118-123.
- [7] 曹钢锋,张善君,朱官忠,等. 山东天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,1988:25,148.
- [8] 丁一汇. 高等天气学. 北京:气象出版社,2005:523.
- [9] 山东省气象台. 1951—1980 年北半球 500hPa 高度,距平和环流指数资料[G]. 第五册
- [10] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2000:343.