

# 2011年陕西秋季强连阴雨天气的大气环流异常特征分析\*

方建刚<sup>1,2</sup>, 易俊莲<sup>2,3</sup>

(1. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710015; 2. 中国科学院地球环境研究所, 陕西 西安 710075;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了陕西 2011 年秋季强连阴雨期间的欧亚大气环流异常特征。结果表明: 这次强连阴雨天气具有雨量大, 暴雨范围广, 站次多、降水集中等特点。欧亚 500 hPa 高度距平场“北高南低”的分布是这次强连阴雨天气产生的大气环流背景, 500 hPa 乌拉尔山到中亚阻塞高压稳定维持, 脊前偏北气流引导冷空气从贝加尔湖与巴尔喀什湖之间的蒙新高原南下, 在贝加尔湖与巴尔喀什湖之间形成一条冷舌, 同时西太平洋副热带高压稳定, 强度偏强, 冷空气在东移南下过程中, 在秦岭山脉附近与西太平洋副热带高压外围暖湿气流持续交汇, 对流层低层秦岭山脉及其邻近地区有较常年同期明显偏强的上升气流, 700 hPa 流场台湾岛以东气旋性环流的异常维持, 偏强的华南偏东气流和高原东侧偏南气流为陕西持续性强降水或连阴雨天气中暴雨发生发展输送了充足水汽。这种环流分布有利于陕西持续性强降水天气产生与维持。而西太平洋副热带高压稳定与副热带急流中心入口右前方动力强迫作用激发的垂直运动, 也为陕西强连阴雨中强降水天气产生提供了有利动力环境场。

**关键词:** 连阴雨; 大气环流; 秋季; 陕西

**中图分类号:** P458.1+21.1; X43

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-811X(2013)01-0006-06

在全球变暖的气候背景下, 相应的区域气候变化极为复杂, 特别是极端气候事件变率及其出现频率、强度, 较平均气候变率更为复杂。因此干旱、暴雨等极端天气气候事件变化规律及其成因分析, 受到广泛关注。赵振国<sup>[1]</sup>对我国夏季旱涝特征及其环境场做了系统分析, 总结了各种天气系统与旱涝的关系。金荣花<sup>[2]</sup>等分析 2003 年淮河多雨期西太平洋副高活动特征, 认为副高脊线位置偏南和相对稳定、西伸脊点偏西以及三次南北和东西振荡的中短期活动过程, 是 2003 年淮河多雨期副高活动的主要特征。牛宁、李建平<sup>[3]</sup>等分析了 2004 年秋季长江以南地区严重干旱的前兆和发展特征以及秋旱持续期间东亚大气环流异常。陕西位于青藏高原东北侧, 我国南北气候分界线秦岭山脉位于陕西中南部, 特殊地理位置和地形形成了陕西独特的天气气候特征, 降水主要集中在夏、秋两季, 且时空分布极为不均, 暴雨洪涝、干旱等自然灾害频发, 特别是夏末秋初季, 频繁东移南下冷空气和西太平洋副热带高压外围偏南暖湿空气多交汇于秦岭山脉附近, 在陕西大部分地区形成长时间的绵绵阴雨。早期高由禧<sup>[4]</sup>指出华西秋雨的起迄日期与亚洲上空急流的进退和印度季风的进退有关, 涂长望、吕炯等人认为一部分秋雨与特定的地形和青藏高原上冷空气平流所致热力不稳定有着密切的关系。受东亚季风年际变化影响, 陕西南部夏末秋初连阴雨天气的持续时间、强度及其阴雨天气中暴雨等强降水出现频次年际变率较大, 例如 1981 年 8 月 13 日-9 月 13

日和 2003 年 8 月 24 日-10 月 13 日持续性强降水天气, 引发了严重的洪涝、滑坡和泥石流等自然灾害。因而关于该地区夏末秋初连阴雨和连阴雨中的暴雨等灾害性天气成因分析及其变化规律受到广泛关注<sup>[5-12]</sup>。鲍媛媛<sup>[13]</sup>等分析了 2001 年华西秋雨的成因。刘富明<sup>[14]</sup>对华西秋雨与大气环流季节转换关系进行了分析。刘天适<sup>[15]</sup>等对 1981 年陕西秋季连阴雨过程做了较为系统分析, 李社宏<sup>[16]</sup>等利用中尺度数值模式 MM5 对 2003 年 8 月 28 日西北东部一次连阴雨中的暴雨天气过程进行数值模拟, 并分析了产生暴雨的中尺度系统发生发展过程及其物理量特征。白虎志<sup>[17]</sup>等分析了西北地区东部秋季降水日数气候变化规律, 表明近年来该地区秋季降水日数呈减少趋势。冯建民<sup>[18]</sup>等分析显示近年来西北东部的宁夏秋季连阴雨发生频次、过程降水量和持续时间总体呈下降趋势, 虽然 2000 年以来有所上升, 但年变率增大。

近年以来中国暴雨或极端、降水事件发生频次增多、强度增加。暴雨、极端强降水量在总降水量中的比重也有所增加, 继 2003 年陕西秋季范围大, 持续时间长的连阴雨之后, 2011 年 9 月 3-19 日陕西又出现了 1951 年以来强度最大、降水集中, 暴雨站次最多的极端连阴雨事件, 长时间高强度的连阴雨导致渭河中下游连续三次出现超警戒洪水, 大面积农田受淹。长时间降水引发西安周边发生大面积滑坡等地质灾害, 给当地人民群众生命财产造成巨大损失。因此 2011 年秋季陕西强连阴雨天气成为我国 2011 年最主要的气候事件

\* 收稿日期: 2012-05-06 修回日期: 2012-07-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-114); 中国科学院国家外专局创新团队国际合作伙伴计划(KZZD-EW-TZ-03); 国家重点基础研究发展规划项目(2010CB833406)

作者简介: 方建刚(1960-), 男, 陕西咸阳人, 教授级高级工程师, 从事气候与气候变化分析研究。

E-mail: fangjg1960@yahoo.com.cn

之一。本文通过 2011 年陕西秋季强连阴雨的大气环流异常特征分析, 进一步认识陕西夏末初秋强连阴雨形成的物理机制, 为陕西秋季强连阴雨的中期预报和短期气候预测提供参考。

## 1 资料

本文所用资料为美国环境预报中心/大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的 2011 年 9 月 3–19 日全球逐日平均资料, 分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ , 物理量为 200 hPa、500 hPa、700 hPa 等压面的风速, 垂直速度, 温度, 比湿。多年平均值为 NCEP/NCAR 再分析资料的 1981–2010 年逐日平均值。文中所用降水资料为陕西省气象信息中心提供逐日 20:00 (北京时, 下同)24 h 实时观测降水资料。

## 2 强连阴雨天气概况

2011 年 9 月 3–19 日陕西省强连阴雨天气过程降水量(图 1)陕北大部 50~210 mm, 关中 200~380 mm, 陕南大部 300~620 mm, 并分别在关中西部和陕南中南部形成大于 350 mm 强降水中心。与历年同期比较: 陕北大部偏多 1~2 倍, 关中、陕南普遍偏多 1~4 倍。连阴雨期间共出现了 8 个暴雨日(表 1), 有 224 站次大雨, 156 站次暴雨, 5 站次大暴雨, 暴雨主要出现在秦巴山区和秦岭北麓的关中平原。与 1951 年以来陕西 5 次典型秋季强连阴雨天气相比较, 虽然暴雨日数少, 但暴雨总站次最多。全省平均雨日 12.1 d, 仅多于 2003 年 8 月 24 日–9 月 7 日的 11.4 d, 但平均过程降水量 236.3 mm, 仅次于 1981 年 8 月 14–9 月 13 日 304.1 mm 和 1964 年 8 月 27 日–10 月 4 日的 269.2 mm, 全省区域平均日降水量和日暴雨站次变化非常一致(图 2), 在全省区域平均日降水量大于 30 mm 当天, 有大于 15 站的区域性暴雨, 表明这次强连阴雨天气具有雨量大, 大雨、暴雨范围

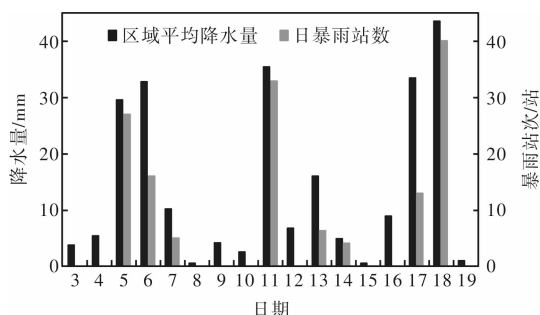


图 2 陕西省 2011 年 9 月 3–19 日逐日区域降水量(单位: mm)和暴雨站数(单位: 站)直方图

表 1 陕西省近年秋季典型连阴雨特征表

年份	过程起止时间	暴雨日数/d	暴雨站次	全省平均过程雨量/mm	平均雨日/d
1964	08.27–10.04	15	83	269.2	26.5
1975	08.31–10.03	14	38	235.2	22.8
1981	08.14–09.13	14	88	304.1	21.7
1984	09.17–10.04	10	38	222.9	20.3
2003	08.24–09.07	11	87	194.4	11.5
2011	09.03–09.19	8	159	236.3	12.1

广, 站次多、降水集中等特点, 是 1951 年以来陕西秋季强度最大、降水集中, 暴雨站次最多的极端天气气候事件。

## 3 大气环流异常特征分析

### 3.1 大尺度大气环流特征

大范围持续性降水天气是大气环流异常状态发展和稳定维持的结果。夏末秋初陕西多连阴雨天气, 通常是与乌拉尔山长波脊或阻塞高压维持和西太平洋副热带高压稳定加强西伸有密切关系。当乌拉尔山附近为阻塞高压, 贝加尔湖为长波槽, 巴尔喀什湖到咸海有切断低压或低槽, 东亚中纬度盛行平直西风气流, 西太平洋副热带高压脊线位于  $27^{\circ}\text{N}$  附近, 588 dagpm 特征线西脊点位于  $110^{\circ}\text{E}$  以西。东亚中纬度西风带短波槽沿纬向西风气流经高原东移南下过程中, 受阻于强大而稳定副热带高压阻挡, 使东移南下冷空气与副热带高压外围偏南暖湿气流持续交汇于秦岭山脉附近, 从而形成了夏末秋初陕西多连阴雨天气的气候特征。

2011 年 9 月 3–19 日陕西持续性强降水期间, 500 hPa 欧亚中高纬度西风带环流形势维持两槽一脊型(图 3), 乌拉尔山到中亚的阻塞高压稳定, 脊前偏北气流不断引导冷空气在贝加尔湖到巴尔喀什湖低槽内聚集, 而西太平洋副热带高压稳定, 强度偏强, 使东移南下冷空气与西太平洋副热带高压外围偏南暖湿气流长时间交汇于西北东部, 相应距平场上乌拉尔山到中亚高压脊所在位置为大于 12 dagpm 闭合正距平中心, 鄂霍次海附近有大于 8 dagpm 正距平中心, 而贝加尔湖和里海附近分别有小于  $-4$  dagpm 闭合负距平中心, 亚洲大陆东岸到西太平洋上空为大片正距平区。欧亚大陆距平场

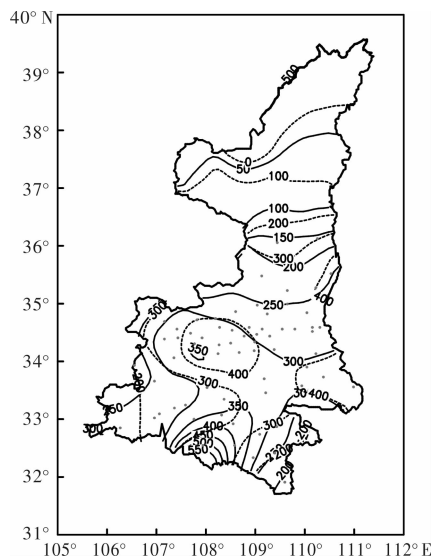


图 1 陕西省 2011 年 9 月 3–19 日降水量(实线, 单位: mm)和降水量距平百分率(虚线, 单位: %), 图中黑点为暴雨站点

中高纬度呈现出“北高南低”的分布特征,环流形势与距平场这种分布使东亚环流经向型得到加强并稳定维持,有利于欧亚中高纬高压脊的加强和中低纬西风槽发展。

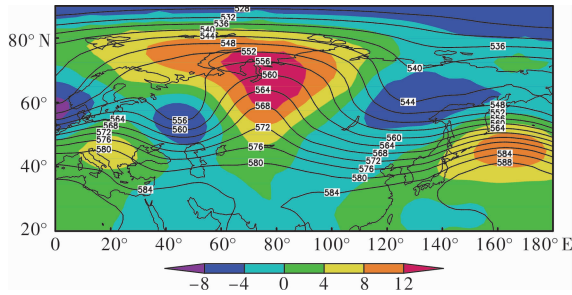


图3 2011年9月3-19日500 hPa平均位势高度场(实线)及距平(阴影区)(单位: dagpm)

陕西持续性强降水期间500 hPa平均温度及其距平场(图4)中,与高度场中里海附近低槽对应的是 $-20^{\circ}\text{C}$ 闭合冷中心和温度负距平中心,乌拉尔山东部为明显温度脊,并在高纬度形成大于 $4^{\circ}\text{C}$ 正距平中心,高度场与温度场的这种配置,有利于阻塞高压维持与稳定。同时贝加尔湖到青藏高原有一条呈东北西南走向冷舌,距平场上对应有 $-2^{\circ}\text{C}$ 闭合负距平中心。而我国华南及亚洲大陆东岸地区为大片正距平区,表明了极地冷空气在乌拉尔山到中亚高压脊前偏北气流引导下,在巴尔喀什湖附近低压聚集,而巴尔喀什湖附近低压不断分裂短波槽沿中纬度平直西风气流东移,受到强大稳定的西太平洋副热带高压阻挡,并与西太平洋副热带高压外围偏南暖湿气流交汇于西北地区东部,形成持续强降水天气。值得注意的是,强降水落区恰好位于温度正负距平交界线附近。

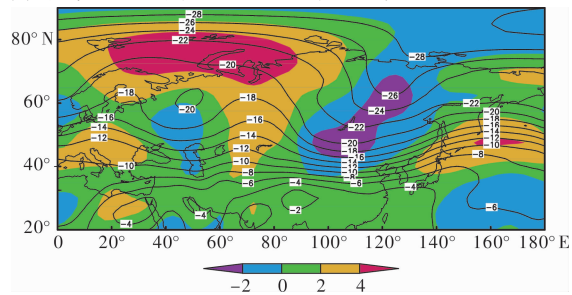


图4 2011年9月3-19日500 hPa平均温度场(实线)及距平(阴影区)(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2 700 hPa 流场特征分析

常年9月上中旬东亚对流层700 hPa中高纬度盛行西风气流(图略),我国东南沿海到西太平洋上空为一反气旋环流,青藏高原南麓盛行西风气流,这支西风气流温度高、湿度大,受地形作用在高原东侧形成西南暖湿气流,并与我国大陆东岸到西太平洋上空的反气旋外围东南暖湿气流在四川盆地到陕西南部汇合成一支明显偏南气流,形成了产生陕西夏末秋初绵绵秋雨的典型流场。2011年9月3-19日700 hPa平均流场(图5a)中,我国东南沿海地区保留范围较小的反气旋环流,

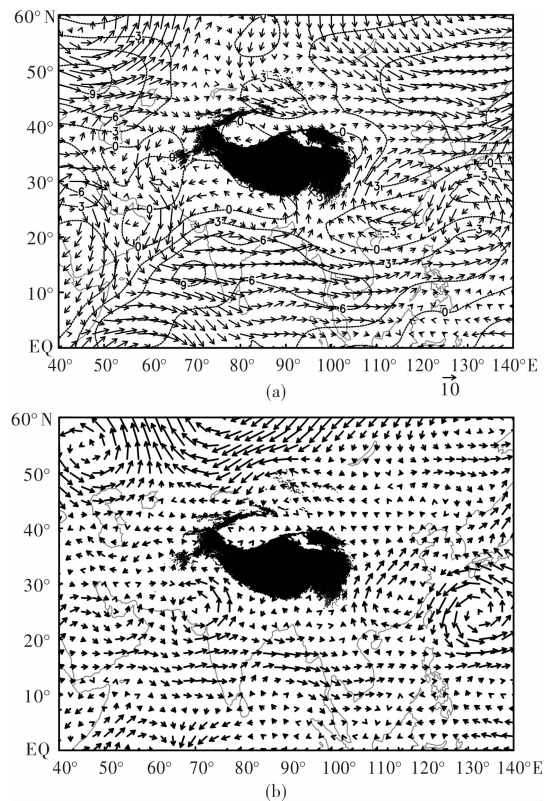


图5 2011年9月3-19日700 hPa平均流场与纬向风速(a, 单位:  $\text{m/s}$ )及流场距平(b)

台湾岛以东存在明显气旋性环流,这一气旋性环流与陕西持续性强降水期间该区域台风或热带低压活动有关,台风或热带低压外围暖湿气流汇入东南沿海反气旋环流外围偏东气流中,在华南附近形成东风风速大于 $3\text{ m/s}$ 闭合中心,这支偏东风随副高外围气流在西进过程中,在四川盆地到陕西南部形成明显偏南风,700 hPa流场距平(图5b)中我国东南沿海的反气旋距平风环流和台湾岛以东气旋距平风环流,华南地区有偏东风距平和高原东侧有偏南风距平,有分析指出<sup>[19]</sup>:在陕西夏秋季暴雨天气发生时,当台风在台湾岛附近活动时,台风外围偏东风水汽输送特征比较显著,而偏东气流是由于台风低压系统的维持、发展和加强所产生的。因此对流层低层偏强的华南偏东气流和高原东侧偏南气流为陕西持续性强降水或连阴雨天气中暴雨输送了充足的水汽。

### 3.3 700 hPa 垂直运动与水汽输送特征分析

2011年9月3-19日700 hPa平均垂直速度场(图6a)中。四川盆地到陕西南部有小于 $-5 \times 10^{-2}\text{ hPa/s}$ 垂直上升区,河套以北地区和我东部有 $5 \times 10^{-2}\text{ hPa/s}$ 下沉运动中心,相应距平图(图6b)中,西北东部、四川盆地为 $-10 \times 10^{-4}\text{ hPa/s}$ 负距平中心,河套以北地区、我国东南沿海和南海附近分别有 $2 \times 10^{-2}\text{ hPa/s}$ 垂直速度正距平中心,表明西北东部、四川盆地上升运动较常年同期明显偏强,有利于降水、强降水产生与维持。同时河套以北、我国东南沿海和南海附近下沉气流较常

年同期明显增强。与前述 700 hPa 平均流场对比垂直上升运动中心恰好位于高原东侧偏南暖湿气流与西风气流交汇地带, 而我国东南沿海下沉运动中心与我国东南沿海的反气旋环流位置基本一致。河套北部和南海附近垂直速度的正距平中心, 反映了陕西强降水期间的垂直经向环流发展, 有分析表明<sup>[20]</sup>陕西秋季连阴雨中强降水天气发生时, 秦岭山脉附近有明显垂直上升气流, 在雨区南北两侧对流层中高层, 分别存在一个下沉气流区, 从而形成陕西秋季连阴雨中强降水垂直经向环流。因此 2011 年 9 月 3–19 日对流层中底层垂直运动分布, 有利于陕西偏南地区持续性强降水天气垂直经向环流加强与维持。

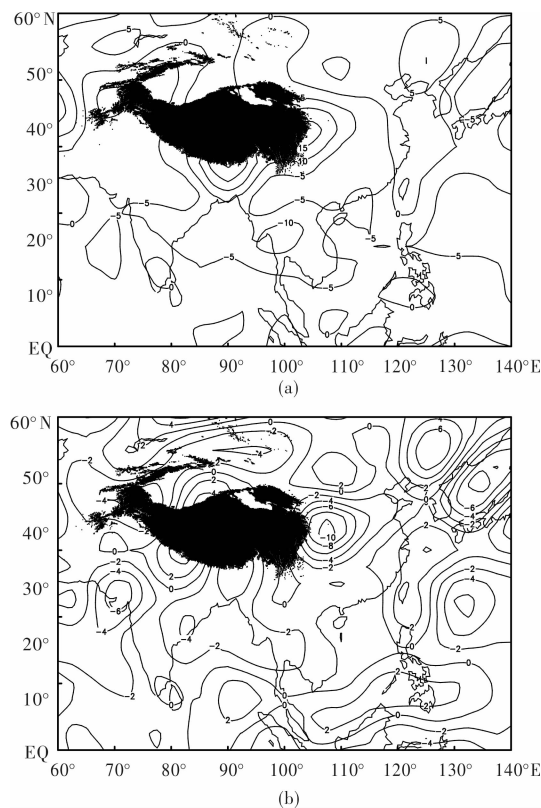


图 6 2011 年 9 月 3–19 日 700 hPa 平均垂直速度 (a) 及距平 (b) 图 (单位:  $10^{-2}$  hPa/s)

2011 年 9 月 3–19 日我国华南地区存在一支明显的偏东气流的水汽 (图 7) 输送, 这支偏东气流的水汽输送随副高外围气流在西进过程中, 在四川盆地到陕西南部形成明显偏南水汽输送, 并在西北地区东部有小于  $-1 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  的水汽辐合区。与前述 700 hPa 流场分析对比, 进一步证实了陕西持续性强降水期间台湾岛以东的台风或热带低压活动, 其外围的暖湿气流汇入偏东气流后, 为陕西连阴雨和连阴雨中的强降水输送了充足的水汽。

### 3.4 西太平洋副热带高压与副热带西风急流变化特征

有分析指出对西北地区来说, 一般西太平洋副热带高压偏北多雨, 偏南少雨, 两者呈正相关,

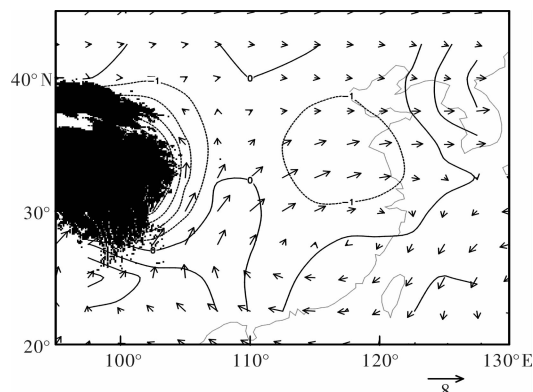


图 7 2011 年 9 月 3–19 日 700 hPa 平均水汽通量矢量与水汽通量散度 (等值线, 单位:  $10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

秋季最好<sup>[21]</sup>。2011 年 9 月 3–19 日西太平洋副热带高压  $110^{\circ}\text{E}$  脊线一直在  $25^{\circ} \sim 32^{\circ}\text{N}$  之间徘徊, 588 dagpm 线西伸脊点多位于  $90^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$  之间, 9 月 3–7 日在西太平洋副热带高压第一次东移南退时, 当脊线位于  $25^{\circ} \sim 28^{\circ}\text{N}$ , 西伸脊点  $110^{\circ} \sim 115^{\circ}\text{E}$  之间时, 陕西偏南地区位于西太平洋副热带高压的西北侧, 9 月 5–7 日陕西关中、陕南出现第一次强降水天气。9 月 8–11 日西太平洋副热带高压脊线北抬  $28^{\circ}\text{N}$ , 西伸脊点位于  $105^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$  时, 11–14 日陕西出现第二次强降水, 之后位于我国大陆西太平洋副热带高压单体迅速减弱, 我国东南沿海有台风登陆, 在对流层低层形成明显的偏东风气流, 陕西南部处在偏南暖湿气流中, 造成该地区第三次降水天气。因此西太平洋副热带高压的稳定少动, 其脊线位置与西伸脊点变化与陕西连阴雨的维持和强降水有密切关系。

副热带西风急流并不是一种围绕地球的均匀气流。在急流轴上风速强弱差别较大, 通常是由几个风速极大中心组成, 风速极大中心之间风速较弱。当空气质点向急流中心移动时不断加速, 在入口区运动的气块会得到向左偏的非地转风分量, 进而左侧出现辐合下沉气流, 右侧出现辐散上升气流。因此急流入口区产生垂直直接次级环流圈的上升支, 有研究表明<sup>[22]</sup>, 在副热带西风激流急流入口区右前方和副高北侧之间的垂直运动随高度变化增加, 即  $\frac{\partial \omega}{\partial p} > 0$ , 这时涡度变化相对于

平均状态为正, 抑制副高北抬, 同时也使得利于降水的垂直运动条件加强。在陕西持续性强降水期间。副热带西风急流中心频繁出现在东亚  $110^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$  之间, 并有大于  $50 \text{ m/s}$  的风速中心, 沿  $110^{\circ}\text{E}$  的时间演变形成急流核串 (图 8), 正是此“急流核串”使陕西南部上空始终处于急流入口区右侧, 抑制副高北抬并使其稳定。同时次级环流作用的上升支与产生降水大尺度垂直运动耦合, 有利于持续性暴雨垂直上升运动增强和维持。19 日以后东亚急流减弱消失, 对副高变化及陕西南部降水的动力作用减弱或消失。方建刚<sup>[23]</sup>等在分析 2003 年陕西秋季连阴雨天气发现副热带西风急



流在  $40^{\circ}\text{N}$  附近稳定时, 陕西大部分地区位于急流右侧的高空辐散区, 有利于该地区对流层低层低涡或低值系统的生成和维持, 因此副热带西风急流在  $40^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{N}$  附近建立并稳定加强时, 陕西连阴雨维持; 副热带西风急流由  $40^{\circ}\text{N}$  向南扩展或在  $50^{\circ}\text{N}$  重建时, 陕西连阴雨降水出现间歇; 而当副热带西风急流在  $30^{\circ}\text{N}$  稳定建立时, 陕西秋季持续性连阴雨基本结束。导致该地区阴雨天气持续。

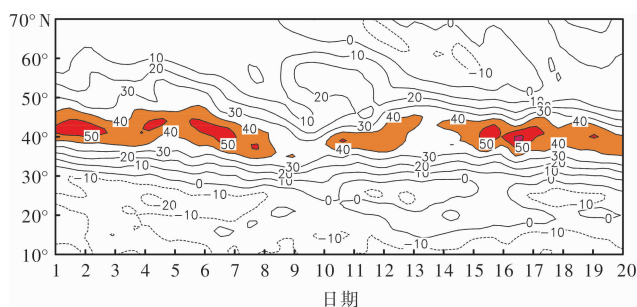


图8 2011年9月1-20日沿  $110^{\circ}\text{E}$  的纬向风速时间剖面图  
(单位:  $\text{m/s}$ , 阴影区为风速大于  $40 \text{ m/s}$ )

## 4 小结

2011年9月3-19日陕西强连阴雨天气具有雨量大, 大雨、暴雨范围广, 站次多、降水集中等特点, 是1951年以来陕西秋季强度最大、降水集中, 暴雨站次最多的极端天气气候事件。欧亚500 hPa高度距平场“北高南低”分布是这次强连阴雨天气产生的大气环流背景, 500 hPa乌拉尔山到中亚阻塞高压稳定维持, 脊前偏北气流引导冷空气从贝加尔湖与巴尔喀什湖之间的蒙新高地南下, 在贝加尔湖与巴尔喀什湖之间形成一条冷舌, 冷空气在巴尔喀什湖附近低压槽中堆积, 同时的西太平洋副热带高压稳定, 强度偏强, 冷空气在东移南下过程中, 在秦岭山脉附近与西太平洋副热带高压外围的暖湿气流持续交汇, 形成了陕西持续性降水天气。

2011年9月3-19日在陕西强连阴雨天气期间, 700 hPa流场台湾岛以东气旋性环流异常维持和发展, 这一气旋性环流与陕西持续性强降水期间该区域台风或热带低压活动有关, 台风或热带低压外围的暖湿气流汇入东南沿海反气旋环流外围的偏东气流中, 加强了华南地区偏强偏东风和高原东侧偏强偏南风, 为雨区输送了充足水汽。700 hPa陕西中南部有较常年同期明显偏强的上升气流, 对流层低层环流分布有利于强降水的产生与维持。

2011年9月3-19日在陕西强连阴雨天气期间, 西太平洋副热带高压脊线位置在  $25^{\circ} \sim 32^{\circ}\text{N}$ , 西伸脊点位于  $90^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ , 陕西位于西太平洋副热带高压西北侧, 同时副热带西风急流中心在  $110^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$  维持, 副热带西风急流中心入口次级环流

作用上升支与大尺度垂直运动耦合, 抑制副高北抬并使其稳定, 有利于陕西持续性暴雨垂直上升运动增强和维持。

## 参考文献:

- [1] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 49-50.
- [2] 金荣花, 矫梅燕, 徐晶, 等. 2003年淮河多雨期西太平洋副高活动特征及其成因分析 [J]. 热带气象学报, 2006, 22(1): 60-66.
- [3] 牛宁, 李建平. 2004年中国长江以南地区严重秋旱特征及其同期大气环流异常 [J]. 大气科学, 2007, 31(2): 254-264.
- [4] 高由禧, 郭其蕴. 我国的秋雨现象 [J]. 气象学报, 1958, 29(4): 264-270.
- [5] 林纾, 章克俭. 西北地区中东部2000年与2001年秋季连阴雨分析 [J]. 气象, 2003, 29(2): 34-38.
- [6] 张弘, 侯建忠, 乔娟. 陕西暴雨若干特征的综合分析 [J]. 灾害学, 2011, 25(2): 81-86.
- [7] 方建刚, 白爱娟. 陕西省一次秋季连阴雨过程的天气动力学分析 [J]. 大气科学研究与应用, 2003, 24(1): 9-15.
- [8] 张雅斌, 杜继稳, 蔡蕊, 等. 陕西省精细化地质灾害气象预报预警研究 [J]. 灾害学, 2011, 26(3): 22-27.
- [9] 方建刚, 陶建玲, 白爱娟, 等. 陕南近期两次特大暴雨天气成因的对比分析 [J]. 灾害学, 2006, 21(2): 69-75.
- [10] 徐桂玉, 林春育. 华西秋雨特征及成因探讨 [J]. 气象科学, 1994, 12(4): 149-154.
- [11] 侯建忠, 刘瑞芳, 王文强, 等. 青藏高原东北侧突发性暴雨特征综合分析 [J]. 灾害学, 2010, 26(3): 22-27.
- [12] 方建刚, 张弘, 白爱娟, 等. 陕西强连阴雨天气个例的综合分析 [J]. 气象科学, 2006, 26(5): 578-585.
- [13] 鲍媛媛, 阿布力·米提, 李峰, 等. 2001年华西秋雨的时空分布的特点及其成因分析 [J]. 应用气象学报, 2003, 14(2): 215-222.
- [14] 刘富明. 大气环流由夏到秋的转变及四川秋雨形成的原因 [J]. 四川气象科技, 1982(2): 35-38.
- [15] 刘天适, 周全瑞. 1981年8月13-24日汉中、宝鸡地区连阴特大暴雨天气分析 [J]. 陕西气象, 1983(5): 13-15.
- [16] 李社宏, 胡淑兰, 王式功. 西北东部一次暴雨天气过程的数值模拟研究 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2006, 42(6): 33-38.
- [17] 白虎志. 西北地区东部秋季降水日数时空特征分析 [J]. 气象科技, 2006, 34(1): 47-51.
- [18] 冯建民, 郑广芬, 陈豫英, 等. 宁夏连阴雨(雪)过程变化规律研究 [J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1590-1597.
- [19] 侯建忠, 王川, 鲁渊平, 等. 台风活动与陕西极端暴雨的相关特征分析 [J]. 热带气象学报, 2006, 22(2): 203-208.
- [20] 方建刚, 侯建忠, 陶建玲, 等. 秦岭近邻地区秋季暴雨的天气动力学分析 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(4): 31-36.
- [21] 白肇烨, 徐国昌. 中国西北天气 [M]. 北京: 气象出版社, 1988: 173.
- [22] 金荣花, 陈涛, 鲍媛媛, 等. 2007年梅汛期异常降水的大尺度环流成因分析 [J]. 气象, 2008, 34(4): 79-85.
- [23] 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, 20(5): 312-319.

(下转第27页)