

蔡芎宁,康志明,牛若芸,等. 2011 年 9 月华西秋雨特征及成因分析[J]. 气象,2012,38(7):828-833.

# 2011 年 9 月华西秋雨特征及成因分析<sup>\*</sup>

蔡芎宁 康志明 牛若芸 鲍媛媛

国家气象中心,北京 100081

**提 要:** 本文分析了 2011 年 9 月华西秋雨的时空分布特征和大尺度环流形势,并对秋雨形成的主要物理机制进行了诊断分析。结果表明:2011 年 9 月华西地区北部降雨日数多、强度大、持续时间长、落区集中。9 月上中旬 500 hPa 高度场上巴尔喀什湖以北的高压脊稳定维持,脊前西北气流携带的冷空气与副高外围的东南暖湿气流和来自孟加拉湾北上的西南暖湿气流交汇于华西地区北部,造成了该地区长时间的持续性强降雨。华西地区北部处于高低能量之间的强能量锋区中,东路干冷空气的汇入,激发了不稳定能量的释放,而对流凝结潜热的正反馈作用,使华西地区北部对流得以维持,强降雨能够长时间持续。

**关键词:** 华西秋雨, 环流形势, 物理机制

## Analysis of Features and Physical Mechanisms of 2011 Autumn Rainfall in West China

CAI Xiangning KANG Zhiming NIU Ruoyun BAO Yuanyuan

National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** The space-time distribution features and large-scale atmospheric circulation of the 2011 autumn rainfall in West China are analyzed to study the physical mechanisms of autumn rainfall. The results show that there were more rainy days, stronger raining processes and longer duration than normal in northern West China in September 2011. The 500 hPa circulation analysis shows that there was a quasi-stationary ridge near Lake Balkhash, from which the cold air was combined constantly with the warm and humid southeast air in the southwest side of the subtropical high and with the southwest air from the Bay of Bengal. The physical analysis shows that there was a strong energy frontal zone in the north of West China, which was strengthened because the cold air from the east area entered so that the instability energy burst out, thus triggering the rainstorm in West China.

**Key words:** autumn rainfall in West China, circulation feature, physical mechanism

## 引 言

入秋以后,我国大部分地区秋高气爽,风和日丽,但华西地区(主要指四川、贵州、陇南、关中、陕南、鄂西、湘西等地)常常细雨霏霏,习惯上称为“华西秋雨”。绵绵秋雨是华西地区秋季降水的主要特色,也是该地区主要气象灾害之一。9—10 月,正值华西地区大秋作物成熟、收获和入冬作物播种的大忙季节,这一时期若出现异常多雨将直接影响当年

作物的收成和来年的农业生产,长时间的阴雨寡照可对农业生产造成损失,如影响晚稻抽穗扬花、使棉花烂桃等;同时也给人们的生产生活带来不便。有些年份由于雨量大,持续时间长,造成洪涝灾害,直接关系到工农业生产和人民生命财产安全,引起了许多气象工作者的关注和重视。

早在 20 世纪 50 年代,高由禧等<sup>[1]</sup>就对华西秋雨进行了详细的研究,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。80 年代有关华西秋雨的论著比较多<sup>[2-6]</sup>。何敏<sup>[4]</sup>对华

\* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2012CB417204)和中国气象局预报员专项(CMA YBY2012-072)共同资助

2011 年 2 月 15 日收稿; 2012 年 5 月 28 日收修定稿

第一作者:蔡芎宁,主要从事中期天气预报工作. Email:cxn@cma.gov.cn

西秋雨的分布及长期预报作了分析研究;刘天适等<sup>[5]</sup>对西北地区以及陕西秋季连阴雨,特别是对陕西20世纪80年代的秋季连阴雨过程做了较为系统的分析;刘富明<sup>[6]</sup>对华西秋雨与大气环流季节转换关系进行了分析。此后到21世纪初才又相继出现了一些有关华西秋雨的论著<sup>[7-11]</sup>。例如林舒等<sup>[7]</sup>分析比较了西北地区中东部2000和2001年出现的连阴雨天气过程,指出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。总的来说,前人的研究多侧重于季节性阴雨的年际变化、华西秋雨与大气环流季节转变的关系及热带季风、高原季风和冬季风的进退与华西秋雨起讫的关系等,但对华西地区持续秋雨和雨势增强的物理机制尚缺乏系统、深入的研究。

2011年9月,华西北部地区(陕西、甘肃东部和南部、四川东北部、重庆北部等地)出现了明显的秋雨天气。阴雨日数多,局地雨量大,使得四川、陕西、重庆、湖北等省(市)发生严重暴雨洪涝及次生地质灾害,共计约2536万人次受灾,92人死亡,19人失踪,直接经济损失约312亿元。本文的目的是通过分析2011年9月华西秋雨的时空分布特征、大尺度环流特点和华西秋雨的水汽及动力热力条件,探讨华西秋雨的物理机制,并希望能为华西地区的秋雨预报业务提供一定的参考。

## 1 资料

本文所用资料为2011年9月NCEP/NCAR全球逐日平均资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,物理量为12层等压面(100、150、200、250、300、400、500、600、700、850、925和1000 hPa)的风速( $u$ 和 $v$ ),垂直速

度( $\omega$ ),温度( $T$ ),相对湿度(仅到300 hPa)。降水资料为中央气象台提供的逐日08:00(北京时,下同)24 h降雨量。

## 2 2011年9月华西秋雨时空分布特征

2011年9月,常年华西秋雨区的北部(陕西、甘肃东部和南部、四川东北部、重庆北部等地)出现了明显的降雨天气(图1a)。总雨量一般在100 mm以上,其中陕西中南部、四川东北部、重庆北部等地达200~300 mm,四川万源(527.3 mm)、巴中(407.5 mm),陕西安康(368.2 mm)、镇安(330.4 mm)、商州(323.0 mm)、汉中(302.0 mm)等地超过300 mm。陕西先后出现3次暴雨天气过程(4—6、10—13和16—18日),秋雨异常明显,全省平均降雨量235.9 mm,为1951年以来同期最多。持续的强降雨导致部分地区发生严重秋汛。四川、重庆、陕西、湖北等省(市)40余条河流发生了超警戒以上洪水,其中长江上游渠江干支流发生超历史实测记录的特大洪水,汉江发生今年以来最大洪水,下游仙桃站逼近历史最高水位,渭河临潼站出现建站以来最高水位。

图1b给出了9月华西地区降雨日数分布(若全国基本站中某站日雨量大于或等于1 mm,则记为该站点的一个降雨日)。由图中可见,西北地区东南部、四川东北部、重庆北部、湖北西北部等地降雨日数普遍在11~15天,其中四川芦山(25天)、名山(22天)、陕西紫阳(17天)、湖北丹江口(17天)和重庆城口(17天)等11站连续降雨日数达到或突破历史极值。另外,这段连续降雨主要集中在9月1—19日,而20—26日,由于环流形势的调整,华西地区出现了一段晴好无雨时段。

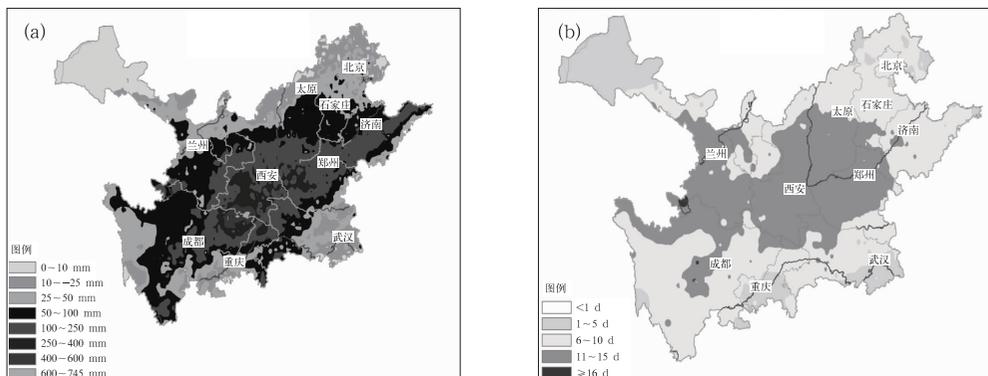


图1 2011年9月华西地区降雨量(a)及降雨日数分布(b)

Fig. 1 The precipitation amount (a, unit: mm) and the rainy days (b, unit: d) in West China in September 2011

就降雨量距平分布来看(图略),9月陕西中南部、四川东北部、重庆北部降雨量普遍比常年同期偏多5成至2倍,其中陕西中南部偏多2倍以上;而贵州、湘西等地降雨量比常年同期偏少5成以上。

由此可见,2011年9月华西地区北部降雨日数多、强度大、持续时间长、落区集中,从而造成了局部地区的严重暴雨洪涝及次生地质灾害。

### 3 中高层大尺度环流特征分析

#### 3.1 500 hPa 大气环流特征

已有研究<sup>[2]</sup>表明,在典型的华西秋雨年中,北半球500 hPa高度距平分布特征通常为:孟加拉湾为宽广的负距平区,我国大陆东部到西北太平洋为正距平区,乌拉尔山阻塞高压处于准静止或缓慢移动状态,巴尔喀什湖为稳定的长波槽或低压。

2011年9月北半球500 hPa高度距平分布也有类似特征(图2)。孟加拉湾为负距平区,我国大陆东部到西北太平洋为正距平区(除了台风活动造成的负距平),环流特征表现为孟加拉湾低槽偏深,西北太平洋副热带高压(以下简称副高)偏强,从而有利于西南季风向华西地区输送水汽。但与典型年份不同的是,巴尔喀什湖以北地区为稳定的长波脊区,贝加尔湖以东地区为低槽区。这种分布型使得冷空气主体偏北,副高后部的东南暖湿气流与中纬度西风气流中的扰动相结合的位置也相对偏北,造成华西地区北部长时间位于低层偏北风和偏南风的交绥区,成为降雨集中区。

从2011年9月1—19日秋雨集中期的500 hPa大气环流形势(图3a)看,由于台风活动,副高被分裂成两环,大陆上一环高压位于长江中下游地区,588 dagpm线的西伸脊点在110°E以西,脊线在

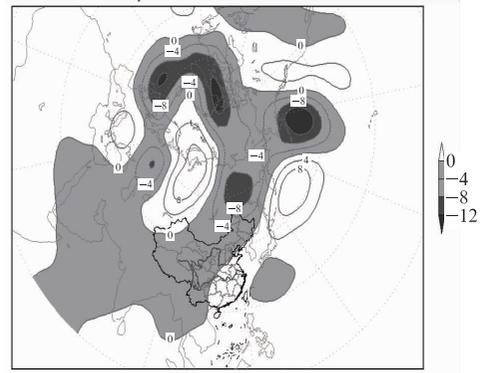


图2 2011年9月500 hPa高度距平分布(单位:dagpm)

Fig. 2 The 500 hPa height anomaly in September 2011 (unit: dagpm)

28°N附近摆动;巴尔喀什湖以北的高压脊稳定维持,脊前西北气流携带的冷空气与副高外围的东南暖湿气流在华西地区北部相遇,造成了该地区长时间持续性强降雨。另外,副高将冷空气阻挡在四川盆地以西以北,也使得贵州、湘西处于单一的暖湿气流控制之下,难以出现持续性强降雨天气。

再对比与秋雨集中期形成明显差异的晴好无雨时段(9月20—26日),在500 hPa平均场上(图3b),前期巴尔喀什湖以北的高压脊东移到贝加尔湖地区,与青藏高原弱脊同位相迭加;副高主体进一步东退,在大陆上的势力明显减弱,588 dagpm线的西伸脊点约在135°E,脊线位于22°N附近。与图3a相比,副高在强度上已明显减弱,位置上明显偏东偏南,而华西地区受高空西北气流控制,出现了一段晴好天气。

#### 3.2 副高特征

文献<sup>[3]</sup>指出,对西北地区东部来说,一般副高偏北多雨,偏南少雨,两者呈正相关,且秋季相关性最好。2011年9月副高的特征量(表略)恰好说明

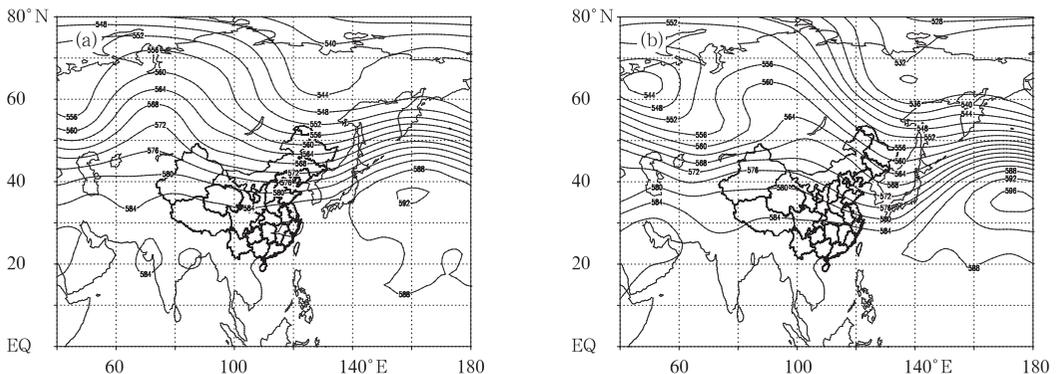


图3 2011年9月1—19(a)与20—26日(b)500 hPa平均高度场(单位:dagpm)

Fig. 3 The mean circulation of 500 hPa during the period of September 1—19 (a) and September 20—26 (b) 2011 (unit: dagpm)

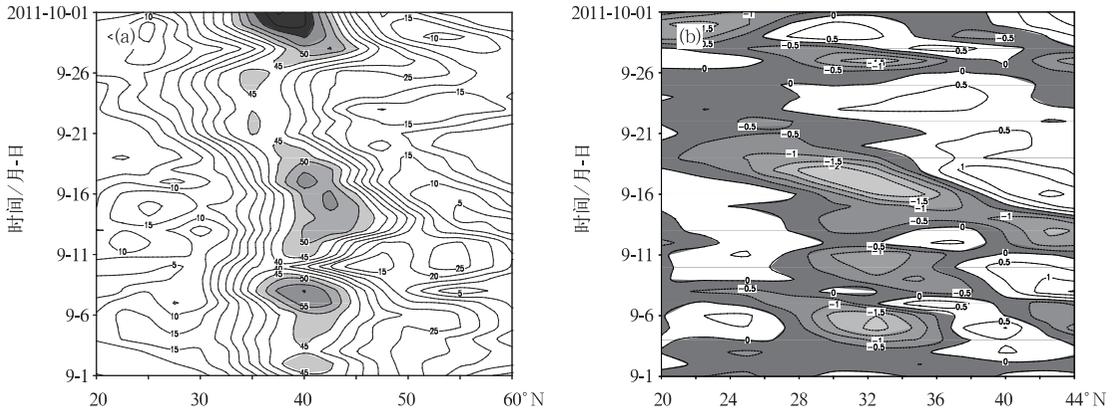


图4 2011年9月200 hPa风速(a, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和  
850 hPa散度(b, 单位: $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )沿 $110^\circ\text{E}$ 时间-纬度剖面

Fig. 4 The latitude-time cross sections of 200 hPa wind speed (a, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
and 850 hPa divergence (b, unit:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) along  $110^\circ\text{E}$  in September 2011

了这一点。9月副高面积指数、强度指数均较常年同期明显偏大,西伸脊点较常年同期偏西 $25 \sim 30$ 个经度, $120^\circ\text{E}$ 脊线位置较常年同期偏北 $2 \sim 3$ 个纬度。因此,就月平均尺度而言,2011年9月副高偏强、偏北、偏西,有利于华西北部地区持续性强降雨天气的形成。

副高稳定且位置偏北是2011年9月大气环流变化的主要特征之一。在2011年华西秋雨集中期(9月1—19日), $120^\circ\text{E}$ 副高脊线(图略)一直徘徊在 $25^\circ \sim 31^\circ\text{N}$ ,比常年9月的月平均脊线位置明显偏北,进一步说明秋季副高偏北有利于华西地区北部降雨天气的形成,而且副高稳定少动,使得降雨天气得到维持。

### 3.3 高空西风急流的演变特征

早在1958年高由禧等<sup>[1]</sup>就指出华西秋雨的起迄日期与亚洲上空急流的进退有关。2011年9月高空西风急流的变化(图4a)非常明显。9月1—6日200 hPa西风急流稳定在 $40^\circ\text{N}$ 附近,8日后开始减弱南移至 $35^\circ\text{N}$ 附近,11日西风急流又北抬至 $40^\circ\text{N}$ 附近,11—19日稳定在 $40^\circ \sim 45^\circ\text{N}$ 之间,20—26日再次减弱南移。与2011年9月华西地区强降雨时段对比分析发现,200 hPa西风急流在 $40^\circ \sim 45^\circ\text{N}$ 之间建立并稳定维持的时段正好对应着华西地区的强降雨时段,而急流减弱南移也对应着华西地区的降雨间歇期。当200 hPa西风急流在 $40^\circ\text{N}$ 附近稳定维持时,华西北部地区位于急流南侧的高空辐散区内。此时,对流层低层有低涡系统在该地区生成和维持,且低层辐合强度与雨势有很好的对应关系。由图4b可见,9月1—19日出现了3次明显的辐合增强

过程,低层散度的演变特征正好与逐日雨势变化一致。低层辐合触发了不稳定能量的释放,进而有利于上升运动的产生,使得该地区始终保持低层辐合、高层辐散的垂直环流,这种配置提供了良好的动力抬升条件,有利于长时间强降雨天气的形成。

## 4 物理量特征分析

### 4.1 热力学条件分析

从2011年9月850 hPa沿 $31^\circ\text{N}$ 假相当位温剖面分析表明(图5),9月1—19日,我国东部地区( $110^\circ\text{E}$ 以东)为 $\theta_{sc}$ 的低值区, $100^\circ \sim 110^\circ\text{E}$ 之间为高值区。这样,在 $\theta_{sc}$ 高低值之间特别是 $105^\circ \sim 110^\circ\text{E}$ 之间维持一个强的能量锋区。这个能量锋区的形成既与西南和东南暖湿气流的水汽输送有关,也与北方南下的干冷空气活动有关;而 $110^\circ\text{E}$ 以东地区 $\theta_{sc}$ 低值一次次向西推进正好反映了东路冷空气的活动。如9月16—18日,西安地区平均气温下降了 $8.4^\circ\text{C}$ ,在图5中可以看到 $110^\circ\text{E}$ 以东地区为大范围的 $\theta_{sc}$ 低值区且明显向西推进,反映了北方干冷空气的活动。正是由于东路冷空气的西进,加剧了能量锋区的强度,使得不稳定能量得到释放,造成大范围强降雨天气。9月20—26日,北方冷空气大举南下,同时西南季风一度中断,高原能量大为减弱,华西秋雨也随之中断。这一结论与前面的分析一致。

进一步分析秋雨集中期(9月1—19日)850 hPa假相当位温的平均场发现(图6a),从四川盆地到河套地区有一条高能舌,且闭合中心达 $380 \text{K}$ ,正如前述这

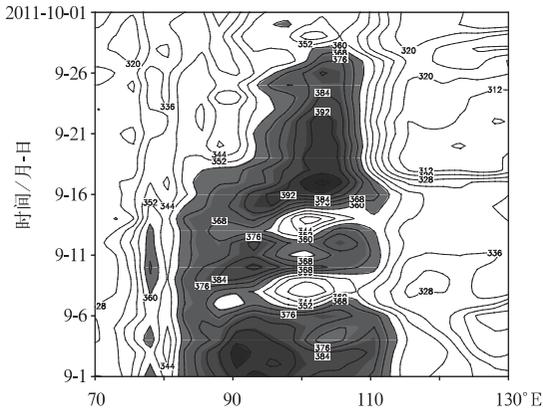


图5 2011年9月850 hPa  $\theta_{sc}$ 沿31°N时间-经度剖面图(单位:K)

Fig. 5 The longitude-time cross section of 850 hPa  $\theta_{sc}$  along 31°N in September 2011 (unit: K)

支高能舌与高原东侧对流层低层的偏南暖湿气流的水汽输送相联系。与几次强降雨落区进行对比分析可见,强降雨主要发生在高能轴附近高能中心的前

方。另外,在高能舌东侧有近东北—西南向的低能带,表明在秋雨集中期,对流层低层有干冷空气从华北回流到华西地区北部,这支冷空气的加入及其与偏南暖湿气流的相互作用,对强降雨的维持,特别是暴雨形成的动力和热力条件有着重要作用。由850 hPa上110°E经向风随时间演变(图6b)可见,在秋雨集中期,偏南暖湿气流条件很有利,且北方均有冷空气南下配合,偏南风 and 偏北风在30°~35°N附近形成对峙形势,降雨持续出现。在整个连阴雨期间,20°~30°N始终维持着一支偏南气流,且由赤道向北延伸,这对水汽输送的持续和上升运动的产生都十分有利。9月20日起北方冷空气大举南下,偏南气流迅速消失,强降雨结束。结合图6b与3次暴雨天气过程时段(4—6、10—13和16—18日)来看,伴随着强劲偏南风维持的同时,对应时段40°N以北的偏北风也显著增强,辐合上升运动较其他时段加强,使得雨势也更加明显。

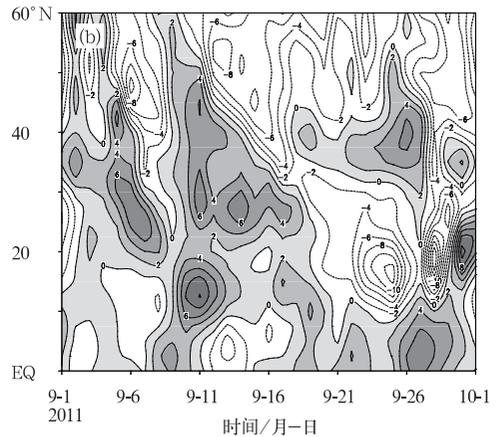
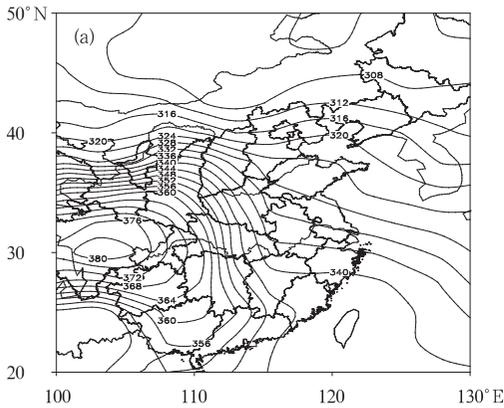


图6 2011年9月1—19日850 hPa平均 $\theta_{sc}$ (a, 单位:K)和2011年9月850 hPa 110°E经向风( $v$ 分量)随时间的演变(b, 单位: $m \cdot s^{-1}$ )

Fig. 6 The spatial distribution of 850 hPa  $\theta_{sc}$  averaged over September 1 to 19, 2011 (a, unit: K) and the temporal evolution of meridional wind along 110°E from September 1 to October 1, 2011 (b, unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

## 4.2 水汽条件分析

充足的水汽供应是持续性降雨的必要条件,以下就针对2011年9月华西地区水汽输送情况进行分析。图7给出了2011年9月850 hPa水汽通量沿31°N的逐日演变情况。从图7中可以发现,9月初青藏高原东侧(100°~105°E之间)有较明显的西南气流;同时,115°E以东地区与偏东路冷空气活动有关的东北气流逐渐加强并转成东南气流汇入105°~110°E之间的华西地区北部。西南气流和东南气流的水汽强烈辐合,并在偏东路干冷空气上爬

升,使潜热能得到释放,对流上升运动进一步加强,从而造成华西地区北部出现强降雨。到了9月20日,随着副高减弱东退,东南水汽输送也明显减弱,降雨也随之出现间歇。

进一步分析秋雨集中期(9月1—19日)水汽通量及水汽通量散度分布发现(图8),华西地区北部为明显的水汽辐合区,水汽通量散度中心值达到 $-250 \times 10^{-7} g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ 。水汽来源主要有两支,一支是从孟加拉湾北上的西南暖湿气流;另一支来自我国东海,依靠副高外围的东南气流输送到华西地区北部。此外,还有少量来自我国东北

地区与东亚地区冷空气活动有关的偏东气流的水汽输送,和源自华西以北地区与西路冷空气相关的弱偏北气流的水汽输送。后两支气流水汽含量极少,属于干冷气流,但其汇入对加大华西地区北部水汽辐合,增大降雨强度非常重要。

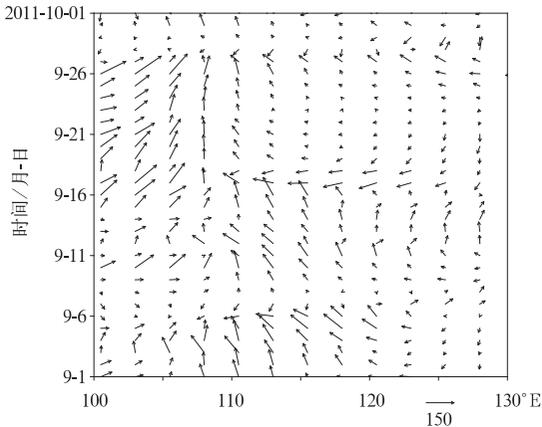


图7 2011年9月850 hPa水汽通量沿31°N时间-经度剖面图

(矢量线单位:  $10^{-1} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 7 The latitude-time cross section of 850 hPa vapor flux along 31°N in September 2011

(Unit of vector line:  $10^{-1} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

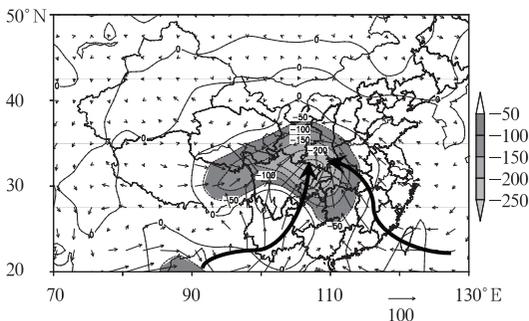


图8 2011年9月1—19日850 hPa平均水汽通量

(矢量线单位:  $10^{-1} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

和水汽通量散度(单位:  $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 阴影区为  $< -50 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 8 The average vapor flux

(unit of vector line:  $10^{-1} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

and the divergence of vapor flux

(unit:  $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

the shadow means the areas with value less than

$-50 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

during the period of September 1 to 19, 2011

另外在水汽通量散度分布中,华北、长江中下游地区为水汽辐散区,与前面讨论的假相当位温高低能量区对比分析发现,水汽辐合区为假相当位温高能区,水汽辐散区为假相当位温低能区,说明在青藏高原东侧低层存在着强烈的辐合上升运动,暖湿空气的上升运动使得该地维持高能区。

## 5 结 论

(1) 2011年9月华西地区北部降雨日数多、强度大、持续时间长、落区集中。

(2) 2011年9月上中旬500 hPa高度场上巴尔喀什湖以北的高压脊稳定维持,脊前西北气流携带的冷空气与副高外围的东南暖湿气流和来自孟加拉湾北上的西南暖湿气流交汇于华西地区北部,造成了该地区长时间持续性强降雨。偏强、偏西、偏北的副高外围偏南气流为华西地区北部输送了大量水汽;而9月下旬副高减弱东移南落,青藏高原至贝加尔湖为高压脊区,华西地区受西北气流控制,出现了一段晴好天气。

(3) 当200 hPa西风急流在40°N附近稳定维持时,华西北部地区位于急流南侧的高空辐散区内。而对流层低层有低涡系统在该地区生成和维持,对流上升运动活跃,使得该地区始终保持低层辐合高层辐散的垂直环流,有利于长时间强降雨天气的形成。

(4) 青藏高原东侧低层维持高能量区,江淮及其以南地区多受副高控制盛行下沉气流,为低能量区,华西地区北部正处于高低能量之间的强能量锋区中。东路干冷空气的汇入,激发了不稳定能量的释放,造成了该地区强降雨的发生。而对流凝结潜热的正反馈作用,使华西地区北部对流得以维持,强降雨能够长时间持续。

## 参 考 文 献

- [1] 高由禧,郭其蕴. 我国的秋雨现象[J]. 气象学报,1958,29(4):264-270.
- [2] 任炳潭,李惠颖. 两千年华西秋雨的初步研究[J]. 气象,1987,13(9):21-24.
- [3] 白肇焯,徐国昌. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版社,1988.
- [4] 何敏. 我国主要秋雨区的分布及长期预报[J]. 气象,1984,10(9):10-13.
- [5] 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.
- [6] 刘富明. 大气环流由夏到秋的转变及其与四川秋雨形成的关系[J]. 四川气象科技,1981,(2):1-6.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 潘扬,李建,廖捷,等. 2009年2—3月我国南方连阴雨天气过程分析[J]. 气象,2010,36(3):39-46.
- [11] 桂海林,周兵,金荣花. 2007年淮河流域暴雨期间大气环流特征分析[J]. 气象,2010,36(8):8-18.