

彭力,徐浩天,刘嘉慧敏,等.西北涡作用下陕西一次强降水过程成因分析[J].陕西气象,2020(5):1-5.

文章编号:1006-4354(2020)05-0001-05

# 西北涡作用下陕西一次强降水过程成因分析

彭力<sup>1,2</sup>,徐浩天<sup>1</sup>,刘嘉慧敏<sup>3</sup>,王琳<sup>1</sup>,倪闻<sup>1</sup>

(1.铜川市气象局,陕西铜川 727000;

2.陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

3.陕西省气象台,西安 710014)

**摘要:**利用常规气象观测资料、NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐6 h再分析资料、云顶亮温资料等对2019年8月2—4日西北涡作用下发生在陕西的一次强降水过程进行分析,结果表明:强降水发生在高原槽东移加深,副高西伸北抬的大尺度环流背景下,700 hPa西北涡是强降水产生的主要影响系统;台风“韦帕”与副高外围的暖湿气流为西北涡迅速增强提供了水汽、能量、动力条件,低层辐合、高层辐散进一步加强了西北涡发展;西南急流为强降水提供了水汽输送和不稳定能量,陕西处于 $\theta_{se}$ 高能区,大气上冷下暖存在位势不稳定层结;地面辐合线触发对流,陕南出现分散的对流性强降水,西北涡东移北上,低涡切变引发陕北系统性强降水;深厚的湿层、较厚的暖云有利于短时强降水出现;低涡降水云系中有对流单体生成发展,短时强降水出现在云顶亮温等温线密集处。

**关键词:**西北涡;台风;强降水;不稳定;云顶亮温

**中图分类号:**P458.121

**文献标识码:**A

西北涡是指青海柴达木盆地东部及甘肃东南地区一带的低涡环流,夏季西北涡发展东移常常造成陕西省盛夏暴雨天气<sup>[1]</sup>。荣涛<sup>[2]</sup>统计了柴达木低涡的特征概况,归纳出了柴达木低涡发生、发展的演变规律;丁治英等<sup>[3]</sup>对一次西北涡的数值模拟,发现了低涡生成与地形和高低层系统的活动关系密切;对于陕西暴雨而言,侯建忠等<sup>[4]</sup>在2006年就统计指出陕西的极端暴雨与近海台风关系密切,其相关率接近87%;张雅斌等<sup>[5-8]</sup>通过个案分析,研究了远距离台风对陕西暴雨的作用,认为远距离台风和陕西暴雨区低层存在水汽和能量输送通道;近年来,李明等<sup>[9-10]</sup>对西北涡和台风之间的相互作用进行了研究,揭示了西北涡造成的暴雨与远距离台风之间的关系,远距离台风和西北涡相互作用,改变了西北涡的斜压结构、温湿结构和动量结构,增强了西北涡附近对流不稳定程度和动力抬升作用。西北涡作为高原低涡的一种,是陕西夏季的主要灾害性天气系统之一。西

北涡与登陆台风相互作用引发的暴雨天气比较少见,是气象学者研究关注的重点,本文对一次西北涡东移造成的暴雨天气进行研究,主要针对西北涡东移发展中的增强机制和降水成因进行分析。

## 1 资料方法

所用资料为2019年8月1日20时—4日08时地面常规气象观测资料、高空常规气象观测资料、NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐6 h再分析资料、FY静止卫星云顶亮温资料等。

## 2 天气实况特征

受西北涡东移发展影响,2019年8月2—4日陕西省自西向东出现了一次大范围强降水天气,强降雨主要出现在陕北、关中北部、陕西南部等地。2日08时—4日08时共43个气象监测站累计雨量超过100 mm,289个站超过50 mm。分析降水逐小时演变发现,此次降水主要时段出现在3日凌晨至4日凌晨,降水过程出现2个暴雨日。2日08时—3日08时,强降水主要出现在关

收稿日期:2020-03-24

作者简介:彭力(1990—),男,汉族,陕西商洛人,理学学士,工程师,从事灾害性天气预报研究工作。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究课题基金(2019M-1)

中北部、陕南西部,降水强度大且分布较为分散,最大小时雨强 59.4 mm/h,3 日 08 时—4 日 08 时,强降水主要出现在陕北,降水范围广、持续时间长,降水伴随对流性特征。

### 3 主要环流形势及西北涡发展演变

200 hPa 天气图上,1 日 20 时—4 日 08 时,南亚高压主体位于青藏高原南侧,甘肃东部、宁夏、陕西位于南亚高压北侧的分流辐散区,高层辐散有利于上升运动的发展维持。500 hPa 上,1 日 20 时亚洲中高纬度呈“两槽一脊”的环流形势,新疆北部和东北地区受低槽影响,河套北部受弱高压脊控制,中低纬度,高原东部有短波槽东移,副热带高压主体位于日本海上,脊线位于  $30^{\circ}\text{N}$  附近,台风“韦帕”中心位于雷州半岛附近,逐渐向北偏西方向移动并减弱为热带风暴。2 日 08 时—4 日 08 时,新疆北部低槽发展东移,高原短波槽东移发展加深,在甘肃—宁夏交界处发展为低涡,副高不断西伸北抬,“韦帕”继续西移,进入北部湾,宁夏附近的低涡沿副高西侧向东北方向缓慢移动。700 hPa 上,1 日 20 时—2 日 08 时位

于甘肃东部的暖式切变线逐渐发展为闭合的低涡环流,西北涡逐渐形成。2 日 08 时—4 日 08 时,在 500 hPa 偏南气流的引导下,西北涡向东北方向移动(图 1a),其前部的西南气流不断加强,西南风急流将华南沿海的暖湿气流向北输送,在西北涡中心辐合,西北涡不断发展;西北涡途经甘肃东部—宁夏—陕北—内蒙古中部,造成了大范围强降水天气。4 日 08 时,西北涡中心移出陕西,陕北强降水停止。

用 700 hPa 西北涡中心垂直涡度表示其强度,分析 2 日 08 时—4 日 08 时西北涡中心附近的垂直涡度(图 1b)发现,西北涡向东北移动的过程中,中心涡度持续增大,西北涡不断增强。2 日 08 时,西北涡中心附近涡度为  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,3 日 08 时,中心涡度达到  $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,这一阶段,西北涡发展迅速。3 日 08 时—4 日 08 时,西北涡中心涡度持续增大,从  $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  增加到  $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,相比前一阶段,这一阶段西北涡发展较为缓慢。以下将针对此次西北涡东移中的增强机制和降水成因进行分析。

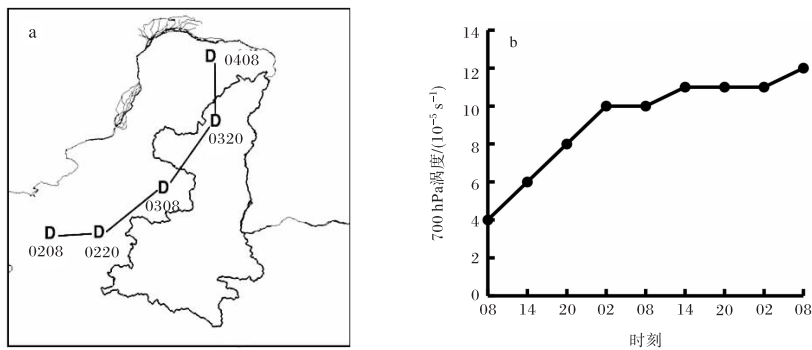


图 1 2019-08-02T08—04T08 700 hPa 西北涡中心移动路径(a,数字为日和时)和西北涡中心附近涡度变化(b,单位为  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )

### 4 西北涡增强机制

2 日 08 时—4 日 08 时,500 hPa 上新疆北部低槽发展东移,引导冷空气南下,副高持续西伸北抬,宁夏附近的低涡向东北方向缓慢移动并不断发展,低涡前部的正涡度平流促使低层减压,西北涡逐渐形成。随着西北涡与副高之间气压梯度加强,西北涡前偏南风不断加大,西南风急流不断向低涡中心输送水汽及能量,西北涡不断发展。200 hPa 上,西北涡上空处于南亚高压北侧的分流辐散区,

高层辐散利于西北涡进一步增强。

武麦凤等<sup>[5]</sup>研究发现台风和西北涡相互作用,能够改变西北涡的结构,促进西北涡自身加强和发展。此次西北涡东移发展过程与副高和台风“韦帕”有着密切的关系,1 日 20 时—3 日 08 时,副高西伸北抬,“韦帕”西移进入北部湾。700 hPa 流场和风速图上,1 日 20 时(图略),甘肃东部与四川交界处为暖式切变线,“韦帕”东侧的东南气流与副高西侧的东南气流汇合,在四川盆地东部

转向北输送。2日08时(图2a),西北涡在甘肃东部形成,汇合后的气流向西北涡南部输送,伴随副高西伸北抬,西北涡与副高之间气压梯度加强,汇合后的偏南气流不断加大,2日14时在甘肃与陕南交界处达到急流标准,最大风速12 m/s。3日02时,急流增强到14 m/s,范围也进一步扩大,急流前部存在明显水汽辐合,水汽通量散度达到 $-3 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,台风附近的水汽和能量随

着偏南急流汇入西北涡中,在西北涡前抬升,西北涡迅速发展,这支汇合后的转向偏南气流成为西北涡与台风“韦帕”间联系的重要通道。3日08时(图2b),副高进一步西伸北抬,连接西北涡和台风间的通道被副高阻断,西北涡发展减慢。台风“韦帕”与副高外围的暖湿气流从华南沿海向北输送,为西北涡发展提供了水汽、能量、动力条件,是此次过程西北涡迅速增强的主要原因。

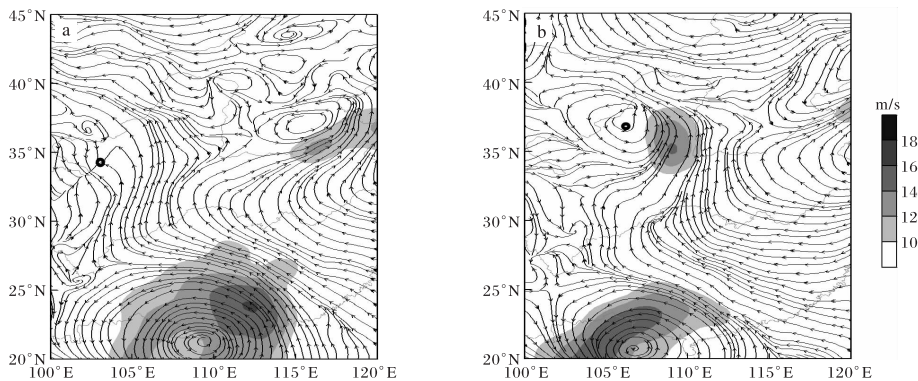


图2 700 hPa 流场和风速(阴影)分布

(a 2019-08-02T08;b 2019-08-03T08;黑色圆圈代表西北涡中心)

## 5 西北涡降水成因

### 5.1 水汽条件

强降水发生离不开充足的水汽供应,此次降水过程中低层西南风不断增大,水汽输送逐渐增强,低层比湿逐渐增加。1日20时开始,台风“韦帕”西移,副高加强北抬,“韦帕”东侧东南气流与副高西侧东南气流汇合,不断向陕西输送水汽,形成明显的水汽通道。水汽通量和水汽通量散度剖面图上(图略),水汽辐合从近地面延伸至700 hPa,强的水汽输送和水汽辐合中心位于700 hPa附近。2日08时,700 hPa 陕南水汽通量为 $4 \sim 6 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,陕北为 $2 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ;2日08时—4日08时,西北涡前西南风不断增大,西南急流带来的水汽输送也不断增加;3日02时700 hPa 陕南水汽通量达到 $12 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,08时陕北水汽通量(图3b)达到 $14 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,强的水汽输送在3日白天长时间维持。水汽通量散度场上,水汽辐合中心位于西北涡前部,2日20时(图3a),700 hPa 上陕西中南部的的水汽辐合达到 $-2 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$ ,3日08时(图3b)陕北水汽辐合中心达到 $-5 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot$

$\text{hPa} \cdot \text{s})$ ,强降水区域与低层水汽辐合区一致,低层强的水汽辐合将低层水汽输送到高层,为强降水提供了有利水汽条件。4日08时后,西北涡移出,陕西上空水汽输送和水汽辐合锐减,强降水停止。

### 5.2 热力条件及探空资料

假相当位温 $\theta_{sc}$ 具有保守性,代表大气温湿特征, $\theta_{sc}$ 高值代表暖湿空气,表示高能区, $\theta_{sc}$ 低值代表冷空气。1日20时开始,低层偏南暖湿气流不断北推,850 hPa 陕西中南部 $\theta_{sc}$ 达到 $76 \text{ }^\circ\text{C}$ ,陕北地区 $\theta_{sc}$ 达到 $72 \text{ }^\circ\text{C}$ ,陕西处于 $\theta_{sc}$ 的高能区,1日20时—3日20时低层高能区长时间维持。2日08时—3日20时,500 hPa 宁夏附近低涡发展东移,低涡后部的冷空气叠加在低层暖湿气流之上,陕西上空形成了上冷下暖的位势不稳定层结。850 hPa  $\theta_{sc}$ 场,来自低涡后、东北冷槽后的两股冷空气与暖湿气流相挤压,2日20时 $\theta_{sc}$ 场(图4)呈明显的“ $\Omega$ ”型,甘肃东部中心值 $68 \text{ }^\circ\text{C}$ 的冷空气侵入陕南西部,造成陕南西部对流性降水。2日20时—3日20时,“ $\Omega$ ”型维持,高能区的能量释放为对流发生提供了能量条件。

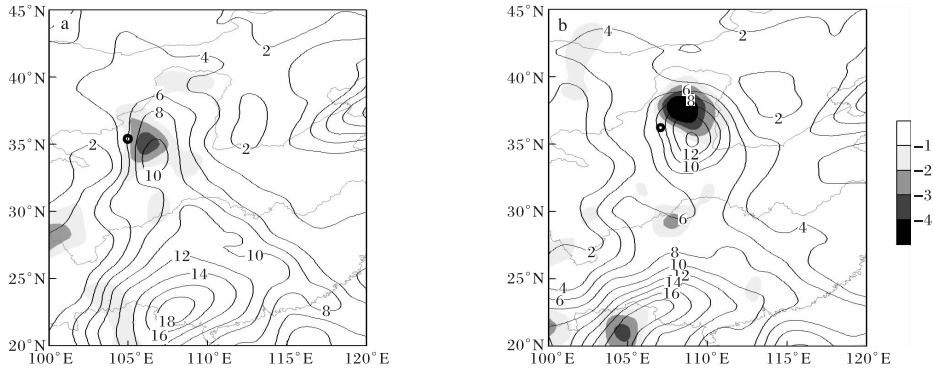


图3 700 hPa水汽通量(等值线,单位为 $\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}\cdot\text{s})$ )和水汽通量散度(阴影,单位为 $10^{-7}\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$ )分布(a 2019-08-02T20;b 2019-08-03T08;黑色圆圈代表西北涡中心)

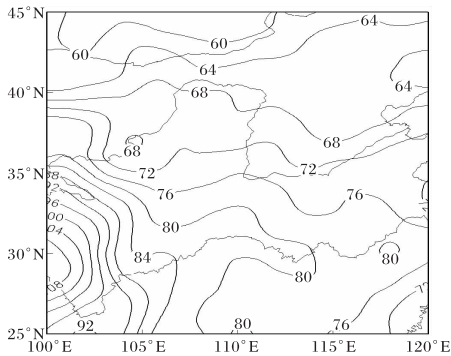


图4 2019-08-02T20 850 hPa假相当位温分布(单位为 $^{\circ}\text{C}$ )

分析汉中、延安探空资料可以看到:强降水发生前,2日20时汉中、延安站对流有效位能(CAPE)值在 $1000\text{J}/\text{kg}$ 以上;3日08时,随着强对流发生,不稳定能量释放,CAPE值明显减小,汉中站为 $100\text{J}/\text{kg}$ ,延安站为 $500\text{J}/\text{kg}$ 。强降水开始后,汉中和延安探空曲线呈细长型(图略),大气湿层深厚。汉中探空站850 hPa以下风随高度逆转,为冷平流,对应甘肃东部侵入的低层冷空气,850~600 hPa为暖平流,600 hPa以上为冷平流;延安站近地层至400 hPa风随高度顺转,为暖平流,400 hPa之上风随高度逆转,存在冷平流,上冷下暖的大气结构加强了大气不稳定性。暖云越厚,越易产生高的降水效率<sup>[11]</sup>,利用抬升凝结高度与 $0^{\circ}\text{C}$ 高度差可判断暖云厚度。3日08时,汉中站暖云厚度4.1 km,延安站为4.0 km,较厚的暖云有利于短时强降水出现。

### 5.3 动力条件

陕南强降水主要出现在3日凌晨至3日中午,分析散度叠加垂直速度剖面图可知:3日02

时(图5a),陕南上空辐合区位于925~700 hPa,辐合中心为 $-4\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ ,700 hPa之上为辐散区,垂直上升中心位于700 hPa,达到 $-12\times 10^{-1}\text{Pa}/\text{s}$ ;3日08时,陕南上空低层辐合,高层辐散维持。结合天气图分析,陕南上空低层辐合与低层切变线对应,高温高湿环境中,地面辐合线触发对流,不稳定能量释放,产生对流性降水,低层辐合和高层辐散的系统配置为降水发生提供了有利的动力条件。

陕北强降水主要出现在3日白天到4日凌晨。3日08时之前,陕北低层受高压影响,850 hPa以下为辐散区;3日白天,西北涡移过陕北;3日14时—4日02时,近地面至700 hPa转为辐合区,700 hPa之上为弱辐散区;3日14时(图5b),850 hPa辐合中心达到 $-6\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ ,最大上升运动中心位于700 hPa,中心值达到 $-22\times 10^{-1}\text{Pa}/\text{s}$ ;3日20时,低层辐合中心北移,辐合强度和垂直上升运动减弱,降水强度逐渐减小。结合天气图分析,陕北辐合主要受西北涡造成的低层切变线影响,高层弱辐散进一步加强了上升运动。

### 5.4 云顶亮温特征

分析云顶亮温( $t_{\text{BB}}$ )演变可知:2日08—20时,受地面辐合线触发,陕南上空有 $t_{\text{BB}}$ 为 $-45\sim -35^{\circ}\text{C}$ 的对流云快速自南向北移动,陕南西部出现弱降水;2日20时,低涡云系已经十分明显,低涡云系后有带状云系发展;2日20时—3日08时,低涡后的带状云系中持续有对流单体生成,在高温高湿环境中,对流单体迅速发展,且移动缓慢,



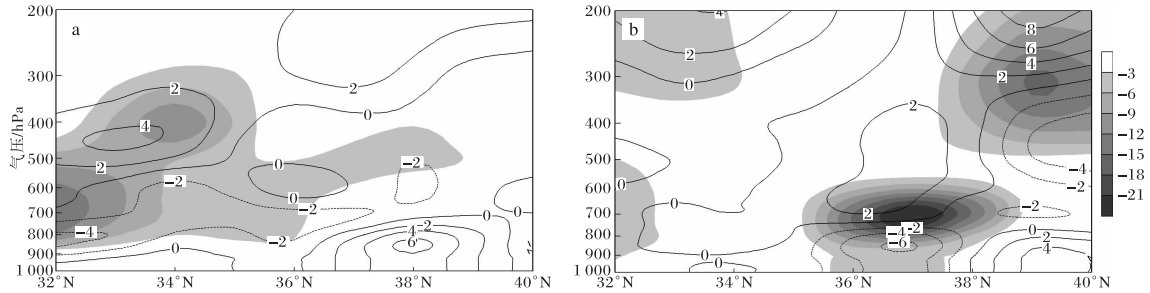


图5 散度(等值线,单位为 $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )、垂直速度(阴影,单位为 $10^{-1} \text{ Pa/s}$ )剖面图

(a 2019-08-03T02 沿 $107^{\circ}\text{E}$ ; b 2019-08-03T14 沿 $109^{\circ}\text{E}$ )

关中北部,陕西南部对流云 $t_{\text{BB}} \leq -45^{\circ}\text{C}$ ,出现了多站 $30 \text{ mm/h}$ 以上的短时强降水,短时强降水主要位于云顶亮温等温线密集处;3日白天,西北涡移过陕北,低涡及带状云系 $t_{\text{BB}}$ 维持在 $-40 \sim -35^{\circ}\text{C}$ ,云系中存在 $t_{\text{BB}} \leq -45^{\circ}\text{C}$ 对流单体发展,陕西南部出现分散性对流降水,陕北出现大范围混合性降水;4日05时,低涡云系移出陕西,降水停止。

## 6 结论

(1)此次降水发生在高原槽东移加深,副高西伸北抬的大尺度环流背景下,西北涡是降水产生的主要影响系统,强降水主要位于低涡中心及前部。

(2)西北涡东移过程中不断增强,台风“韦帕”与副高外围的暖湿气流为西北涡迅速增强提供了水汽、能量、动力条件;低层辐合,高层辐散进一步加强了西北涡发展。

(3)西南急流为强降水提供了水汽输送和不稳定能量,陕西处于假相当位温的高能区,大气上冷下暖存在位势不稳定结构;地面辐合线触发不稳定能量释放,陕西南部出现分散的对流性强降水,受西北涡低层切变线影响,陕北出现系统性强降水;深厚的湿层,较厚的暖云利于短时强降水出现。

(4)低涡降水云系中持续有对流单体生成发展,对流单体 $t_{\text{BB}} \leq -45^{\circ}\text{C}$ ,短时强降水主要出现在云顶亮温等温线密集处。

## 参考文献:

- [1] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等. 陕西省短期天气预报手册[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [2] 荣涛. 柴达木低涡特征及其预报[J]. 干旱气象, 2004,22(3):26-31.
- [3] 丁治英,吕君宁. 一次西北涡生成移动过程的数值试验[J]. 南京气象学院学报,1993,16(2):226-232.
- [4] 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.
- [5] 张雅斌,武麦风,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] 武麦风,王旭仙,王桂梅,等. 陕西中部一次远距离台风暴雨过程成因分析[J]. 气象科技,2013,41(1):138-145.
- [7] 郭大梅,刘瑞芳,侯建忠,等. 陕西一次远距离台风持续性暴雨的成因分析[J]. 气象科学,2012,32(3):325-331.
- [8] 井喜,贺文彬,毕旭,等. 远距离台风影响陕北突发性暴雨成因分析[J]. 应用气象学报,2005,16(5):655-662.
- [9] 李明,高维英,王兴慧. 西北涡和登陆台风共同影响的一次暴雨过程分析[J]. 陕西气象,2016(5):1-6.
- [10] 武麦风,曹玲玲,马耀荣,等. 西北涡与登陆台风相互作用个例的诊断分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(4):309-315.
- [11] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006.