

黎颖,王欣,马楚楚. 汉江流域暴雨的 Eliassen-Palm 通量特征及潜势预报[J]. 陕西气象,2020(5):11-15.

文章编号:1006-4354(2020)05-0011-05

# 汉江流域暴雨的 Eliassen-Palm 通量特征及潜势预报

黎颖<sup>1</sup>,王欣<sup>2</sup>,马楚楚<sup>1</sup>

(1. 汉中市气象局,陕西汉中 723000;2. 汉台区气象局,陕西汉中 723000)

**摘要:**利用 1980—2018 年 ERA-Interim 全球再分析资料,对汉江上游汉中地区暴雨过程纬向风场及瞬变波活动 Eliassen-Palm(下简称 EP)通量特征进行诊断分析。结果表明:(1)尝试将瞬变波 EP 通量特征分析应用到汉江流域典型暴雨过程动力特征研究中,天气尺度瞬变波 EP 通量的辐散可以表征天气尺度扰动的强迫作用,根据热成风原理,角动量和热量的沉积耗散会进一步影响纬向环流的变化。大气中高层瞬变波活动特征可作为提前量反映汉江流域暴雨的发生。(2)暴雨发生前,30°N 附近 200 hPa 有纬向风减速中心,对应 200 hPa 为 EP 通量辐散区,EP 通量辐散区扩展加强有利于暴雨的发生,这种大气波动的垂直分布特征及其变化对暴雨发生有指示意义。

**关键词:**汉江流域;暴雨;EP 通量特征;潜势预报

**中图分类号:**P448

**文献标识码:**A

中纬度天气尺度瞬变波与大气平均环流相互作用(波流相互作用)是产生天气气候事件的主要动力过程<sup>[1-3]</sup>,Eliassen-Palm(下简称 EP)通量分析则是一种重要的诊断方法,常被用来研究波流相互作用<sup>[4-6]</sup>。辐散的 EP 通量将会加速纬向平均西风,辐合的 EP 通量将会削弱纬向平均西风。对流层中上层环流结构与由低层上传的行星波的耗散及强迫作用有关<sup>[7-10]</sup>。低层西风较强,瞬变波向高层辐合,在高层平均西风环流减弱,瞬变波活动增强,由低层向高层传递的波动能量聚积并向外辐散,波动能量传递与低层水汽输送及暴雨事件有联系。引入 EP 通量理论,还可以讨论中尺度系统的演变发展<sup>[11]</sup>及瞬变波的强迫及耗散作用对低层暴雨生成的影响。

针对极端强降水的研究指出,暴雨事件存在明显的区域特征<sup>[12]</sup>。西南地区暴雨的频次相对较低,但降水强度较大,这些地区暴雨引发的灾害很可能会更加严重<sup>[13]</sup>。目前研究多集中在暴雨事件与海陆热力差异及行星尺度气候变率的相关

关系方面,对暴雨事件的动力成因探讨较少。尝试将瞬变波 EP 通量特征分析应用到汉江流域 2018 年两次暴雨过程研究中,旨在探讨暴雨事件的发生与天气尺度瞬变波变化特征的联系。汉江上游地区是夏季暴雨频发区。因此,本文选取夏季瞬变波活动特征与汉江上游地区暴雨的联系进行研究。

## 1 资料和方法

### 1.1 数据资料

使用 1980—2018 年 6—7 月 ERA-Interim 全球逐月风场( $U$ 、 $V$ )、温度场( $T$ )资料以及 2018 年 6—7 月逐日风场、温度场资料进行纬向风距平和瞬变波特征的分析,水平分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ,垂直方向有 27 个标准气压层(1 000~100 hPa)。对 6、7 月的逐日风场、温度场资料进行纬向平均,两次暴雨过程相应的纬向偏差场为纬向风距平。

采用国家气象信息中心 2018 年 6—7 月汉中地区 11 个国家自动站的逐日降水资料。

**收稿日期:**2020-02-28

**作者简介:**黎颖(1992—),女,汉族,陕西咸阳人,硕士,助理,主要从事短期天气预报和致灾性天气研究。

**基金项目:**2020 年中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-133);2019 年陕西省山洪地质灾害气象保障工程;2019 年陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室重点基金课题(2019Z-2)

## 1.2 EP 通量及其资料处理

为重点分析瞬变行星波与暴雨过程的联系,首先分析瞬变行星波的传播特征及其对平均环流的影响,对6、7月两次暴雨过程的逐日风场、温度场资料进行纬向平均,并利用相应的纬向偏差计算逐日的EP通量及其散度场。

在球面气压  $p$  坐标系中和准地转近似下,EP通量(单位为  $\text{m}^2/\text{s}^2$ )矢量<sup>[4-6]</sup>

$$\vec{F} = \{F_{(\varphi)}, F_{(p)}\} = \{-r_0 \cos\varphi \overline{v'u'}, fr_0 \cos\varphi \overline{v'\theta'/\theta_p}\}, \quad (1)$$

式(1)中,  $\vec{F}$  的两个分量  $F_{(\varphi)}$ 、 $F_{(p)}$  分别表示由扰动引起的单位质量空气涡动角动量(量级为  $10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ )和涡动热量(量级为  $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ )的经向输送;  $r_0$ 、 $\varphi$ 、 $f$  表示地球半径、纬度和 Coriolis 参数,其中  $r_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ ,  $f = 2\Omega \sin \varphi$ ,  $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。  $u$ 、 $v$  和  $\theta$  表示纬向、经向速度(单位为  $\text{m/s}$ )和位温(单位为  $\text{K}$ )。

EP 通量的散度(单位为  $\text{m/s} \cdot (\text{d})$ )

$$\nabla \cdot \vec{F} = \frac{1}{r_0 \cos\varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} (F_{(\varphi)} \cos\varphi) + \frac{\partial}{\partial p} (F_{(p)}), \quad (2)$$

再由变换的欧拉平均(TEM)得到纬向动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - f \overline{v^*} - \bar{\epsilon} = \frac{1}{r_0 \cos\varphi} \nabla \cdot \vec{F}, \quad (3)$$

其中,  $\overline{v^*}$  是变换所定义的剩余经圈环流的经向分量(单位为  $\text{m/s}$ ),  $\bar{\epsilon}$  是摩擦项(单位为  $\text{m/s}$ ), EP 通量的散度表示扰动的辐合强迫作用,扰动角动量的沉积将同时影响平均纬向及经向环流并通过绝热下沉或上升运动导致温度的变化,行星尺度波与纬向平均环流正相关,天气尺度瞬变波与纬向风反相关。

选取以  $107^\circ\text{E}$  为中心的汉中地区计算盛夏 EP 通量及其散度,其他物理量区域与此相同;对暴雨发生前 1 d 及暴雨开始日的相关物理量进行分析;气候平均场为 1980—2018 年 6、7 月的多年平均,纬向风距平值为逐日资料与气候平均态之差,可反映该日纬向风相较于气候平均态的偏离程度,负值说明该日纬向风偏弱,数值上可理解为减速。

## 2 两次暴雨过程影响系统分析

2018 年汉江流域 6—7 月出现多次暴雨过程,造成严重灾害。图 1 为 2018 年 6 月 24 日、2018 年 7 月 9 日汉江流域上游汉中地区暴雨日降水量分布。

由图 1a 可以看出,6 月 24 日汉中市出现区域性暴雨天气,汉中市共出现 4 区县暴雨,暴雨主要分布在汉中西部、北部山区。暴雨前期 500 hPa 高度场上,影响汉中地区的低槽位于青藏高原东部,陇南至四川盆地西北部维持着低涡切变;西太平洋副热带高压加强西伸。低层 700 hPa 西南低涡切变稳定少动,在高空稳定的环流形势下,低层低涡切变及副高外围西南暖湿气流是导致此次暴雨过程的主要原因(图略)。

由图 1b 可以看出,2018 年 7 月 9 日汉中再次出现暴雨天气过程,暴雨分布在汉中中西部,大暴雨位于西部及北部山区。暴雨前期 500 hPa 处于副热带高压西侧,影响汉中地区的短波槽位于高原东部。低层 700 hPa、850 hPa 有切变线,切变线南侧为西南暖湿气流,短波槽、副热带高压是导致此次暴雨过程的主要原因。

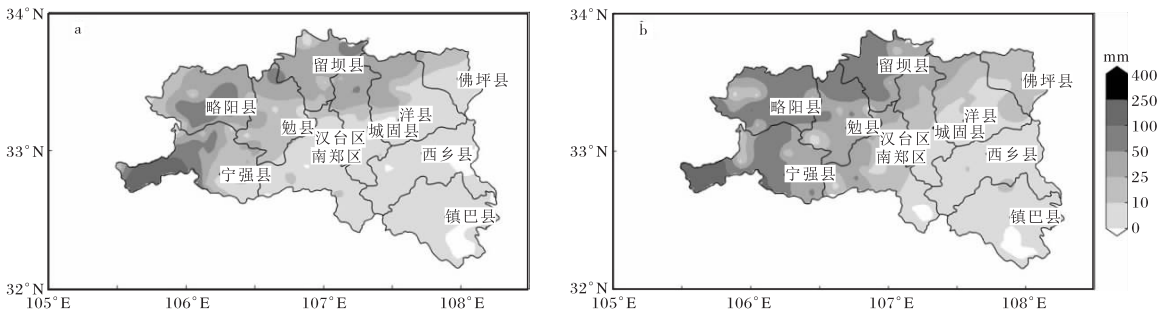


图 1 汉江流域上游汉中地区日降水量分布(a 2018-06-24;b 2018-07-09)

### 3 两次暴雨过程环流变化和 EP 通量

#### 3.1 纬向风距平

由 2018 年 6 月 23 日(图 2a)、24 日(图 2b)纬向风距平场的纬度高度剖面图可以看到,暴雨发生前一日,6 月 23 日 200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  存在纬向风减速,减速值约  $16\text{ m/s}$ ,200 hPa 以下整层纬

向风减弱;6 月 24 日暴雨发生当日,200 hPa 纬向风减速区向南移动,  $33^{\circ}\text{N}$  附近减速值约  $2.5\text{ m/s}$ ,700 hPa  $33^{\circ}\text{N}$  以北纬向风加速,  $33^{\circ}\text{N}$  以南纬向风减速,  $33^{\circ}\text{N}$  附近纬向风变化经向梯度加大,有利于低层风切变及水汽输送。

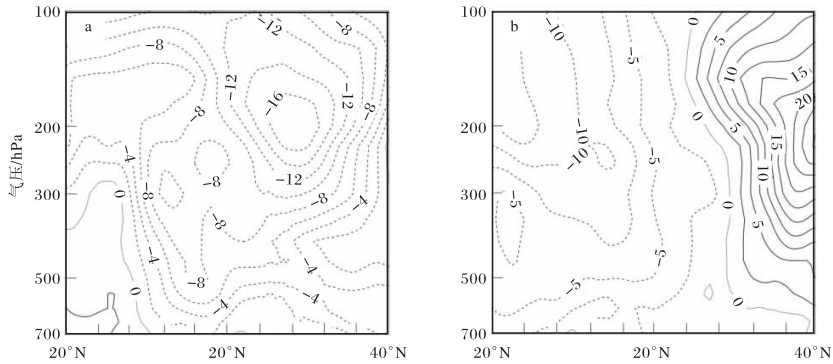


图 2 纬向风距平值的纬度-高度垂直剖面  
(单位为  $\text{m/s}$ ; a 2018-06-23; b 2018-06-24)

从图 3a 看到,2018 年 7 月 8 日(暴雨发生前一日),200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  以南纬向风减速,  $33^{\circ}\text{N}$  减速值约  $8\text{ m/s}$ ,  $33^{\circ}\text{N}$  以北纬向风加速,200 hPa 以下整层纬向风减弱;从图 3b 看到,7 月 9 日暴雨发生当日,200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  以南纬向风减速加强,  $33^{\circ}\text{N}$  减速值约  $12\text{ m/s}$ ,500 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  以北纬向风加速。

从上面两次暴雨过程来看,暴雨发生前一日,200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  有纬向风减速区,随着纬向风减速趋势加强,暴雨发生日纬向风减速区向南移动,且低层(500~700 hPa)  $33^{\circ}\text{N}$  以北纬向风加速,  $33^{\circ}\text{N}$  附近纬向风变化经向梯度加大,有利于低空切变和水汽输送。纬向风减弱(加强)常与瞬变波活动增强(减弱)相联系。

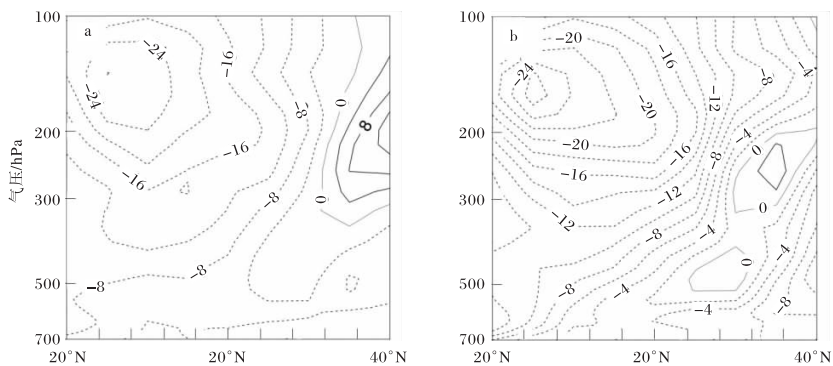


图 3 纬向风距平值纬度-高度垂直剖面  
(单位为  $\text{m/s}$ ; a 2018-07-08; b 2018-07-09)

#### 3.2 EP 通量与 EP 通量散度

对流层中上层环流结构与由低层上传的行星波的耗散及强迫作用有关<sup>[7-10]</sup>。波动能量传递与低层水汽输送及暴雨事件有联系,即行星波活动

的高(低)指数用来反应强(弱)波弱(强)流。引入 EP 通量理论,讨论对流层的瞬变波的强迫及耗散作用,对暴雨生成的影响。

图 4a、图 4b 分别给出了汉江流域暴雨发生

前6月23日和暴雨开始的24日瞬变波EP通量及其散度的纬度-高度剖面。从图4a可看到,暴雨发生前,23日200 hPa附近30°N存在EP通量辐散,辐散中心值约10 m/(s·d),300~500 hPa有EP通量辐合。24日(图4b)暴雨开始,200 hPa附近30°N天气尺度瞬变波EP通量辐散加强并向扩展至300 hPa,辐散中心值约20 m/(s·d)。

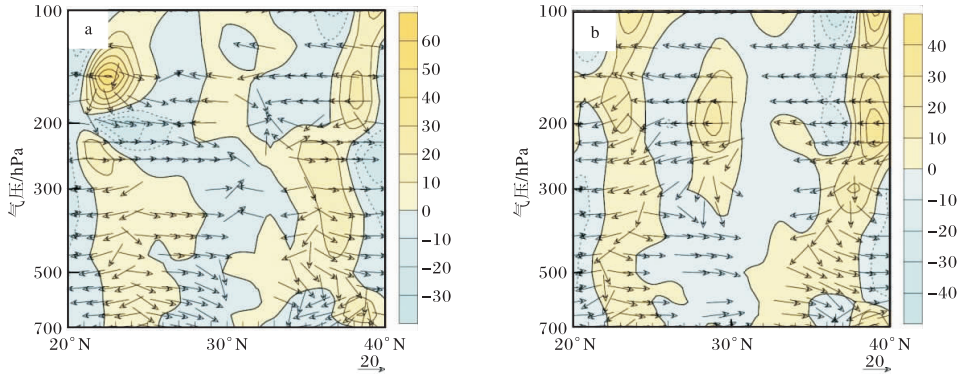


图4 瞬变波1~3波的EP通量及其散度纬度-高度垂直剖面(箭头为EP通量,单位为 $\text{m}^2/\text{s}^2$ ;色斑为EP通量散度,单位为 $\text{m}/(\text{s}\cdot\text{d})$ ;a 2018-06-23; b 2018-06-24)

图5a、图5b分别给出了7月8、9日瞬变波的EP通量及其散度的纬度-高度剖面。从图5a可看到,暴雨发生前(8日),200 hPa附近33°N有EP通量辐散,中心值约20 m/(s·d),300~500

200 hPa附近30°N瞬变波EP通量辐散加强,辐散区即波角动量的发散区(辐合区即波角动量的沉积区)向下扩展,低层瞬变波EP通量辐合加强,这种形势与200 hPa附近33°N纬向风的减弱(图2a所示)相匹配,有利于强降水的发生(24日暴雨过程开始)。

hPa有EP通量辐合。暴雨开始(9日),200 hPa附近33°N瞬变波EP通量辐散增强并向北扩展,中心值约20 m/(s·d),300~700 hPa瞬变波EP通量辐合加强(图5b)。

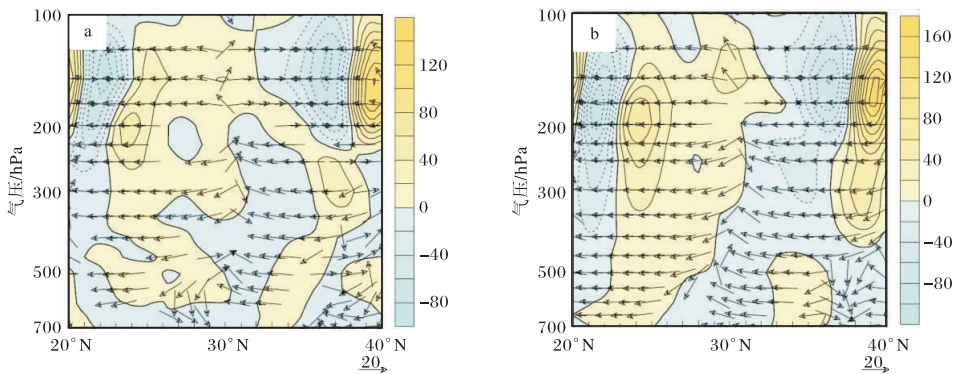


图5 瞬变波1~3波的EP通量及其散度的纬度-高度垂直剖面(箭头为EP通量,单位为 $\text{m}^2/\text{s}^2$ ;色斑为EP通量散度,单位为 $\text{m}/(\text{s}\cdot\text{d})$ ;a 2018-07-08;b 2018-07-09)

综合以上分析,汉中地区暴雨发生前,200 hPa附近33°N天气尺度瞬变波EP通量及其散度变化与纬向风变化有较好的对应关系;200 hPa附近33°N瞬变波EP通量辐散并向外扩展,300~

500 hPa EP通量辐合,高低空瞬变波活动变化特征相反,这种变化特征及垂直分布型有利于天气尺度瞬变波动能量的传递,对暴雨的发生具有指示性。

#### 4 结论

利用 ERA-Interim 资料通过计算纬向风距平、瞬变波 EP 通量及散度,对 2018 年汉中市两次暴雨过程动力特征进行分析,主要结论如下。

(1) 尝试将瞬变波 EP 通量特征分析应用到汉江流域典型暴雨过程动力特征研究中,天气尺度瞬变波 EP 通量的辐散可以表征天气尺度扰动的强迫作用,根据热成风原理,角动量和热量的沉积耗散会进一步影响纬向环流的变化。大气中高层瞬变波活动特征可作为提前量反映汉江流域暴雨的发生。

(2) 分析暴雨过程纬向风变化特征,暴雨发生前一日,200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  有纬向风减速中心,随着减速趋势加强,暴雨发生日低层存在纬向风加速,高低空环流变化相反。纬向风减弱(加强)也常与瞬变波活动增强(减弱)相联系。

(3) 200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  天气尺度瞬变波 EP 通量及其散度与纬向风变化有较好的对应关系;200 hPa 附近  $33^{\circ}\text{N}$  瞬变波 EP 通量辐散并向外扩展,300~500 hPa EP 通量辐合,高低空波活动变化特征相反,天气尺度瞬变波的这种变化特征及分布型有利于波动能量的传递,对暴雨的发生具有指示性。

#### 参考文献:

- [1] GAO Shouting. The generalized EP flux of wave mean flow in interactions[J]. Science in China, 1990, 33(6):704-715.
- [2] 刘仁强,黎颖,付焱焱,等. 北半球极区平流层冬季 12 月与 1-2 月气候变化形势的对比[J]. 大气科学学报, 2018, 41(3):416-422.
- [3] 陈海山,朱月佳,刘蕾. 长江中下游地区冬季极端降水事件与天气尺度瞬变波活动的可能联系[J]. 大气科学, 2013, 37(4):801-814.
- [4] ELIASSEN A, PALM E. On the transfer of energy in stationary mountain waves[J]. Geofysiske publikasjoner, 1961, 22(3):1-23.
- [5] 施春华,徐婷,蔡娟,等. 球面 E-P 通量的计算及其应用[J]. 大气科学学报, 2015, 38(2):267-272.
- [6] EDMON H J, HOSKINS B J, MCINTYRE M E. Eliassen-Palm cross sections for the troposphere[J]. J Atmos Sci, 1980, 37:2600-2616.
- [7] 陈文. 北半球冬季准定常行星波传播的年代际变化[J]. 自然科学进展, 2006, 16(4):485-489.
- [8] 陈文,黄荣辉. 北半球冬季准定常行星波的三维传播及其年际变化[J]. 大气科学, 2005, 29(1):137-146.
- [9] 陈文,魏科. 大气准定常行星波异常传播及其在平流层影响东亚冬季气候中的作用[J]. 地球科学进展, 2009, 24(3):272-285.
- [10] 冉令坤,高守亭,雷霆. 高空急流区内纬向基本气流加速与 EP 通量的关系[J]. 大气科学, 2005, 29(3):409-416.
- [11] 丁一汇,沈新勇. 对称扰动与纬向基流的相互作用:(一)倾斜 EP 通量理论[J]. 大气科学, 1998, 22(5):735-743.
- [12] 任国玉,吴虹,陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3):323-330.
- [13] 於琰,徐影,张永香. 近 25 a 中国暴雨及其引发的暴雨洪涝灾害影响的时空变化特征[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(1):67-72.