

# AERE 台风远距离降水形成机制分析

范学峰<sup>1,2</sup> 吴 蓁<sup>2</sup> 席世平<sup>2</sup>

(1. 兰州大学大气科学学院, 730000; 2. 河南省气象台)

**提 要:** 应用螺旋度、湿位涡理论, 计算  $1^\circ \times 1^\circ$  的 NCEP 再分析资料, 对 0418 号台风艾利造成河南东部大暴雨过程作诊断分析, 探讨这次暴雨天气发生、发展的热力学和动力学机制。结果表明, 台风倒槽外围的东南急流为暴雨提供了水汽条件和热力条件, 台风倒槽顶部的强辐合作用则是暴雨发生发展的动力机制; 由于弱冷空气从低层侵入, 暴雨区 MPV1 由负值转变为正值, 导致了垂直涡度加强, 促进了降水的发展。因此弱冷空气的侵入在一定程度上增加了降水量; 而 925hPa 垂直螺旋度大值带的移动和发展能示踪倒槽位置, 又对暴雨落区有较好的指示意义; 暴雨发生时暴雨区处于负的 MPV1 大值区。

**关键词:** 台风倒槽 暴雨 螺旋度 湿位涡

## Mechanism Analysis of Rainfall in the Far Distance of Typhoon AERE

Fan Xuefeng<sup>1,2</sup> Wu Zhen<sup>2</sup> Xi Shiping<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, 730000; 2. Henan Meteorological Observatory)

**Abstract:** By using the helicity and moist potential vorticity (MPV) theory  $1^\circ \times 1^\circ$  reanalysis data of NCEP was calculated to diagnose the heavy rain process of NO. 18 Typhoon AERE in the east of Henan. The dynamical and thermodynamic mechanisms of this process' formation and development were discussed. The results show that southeast jet in the typhoon inverted trough periphery supplied vapor and thermodynamic conditions for the heavy rain. Strong convergence action on the top of typhoon inverted trough was the dynamical mechanism of the rainstorm' happening and developing. Because of weak cool air intrusion in the low level the MPV1 of rainstorm area turned from negative to positive, which led vertical vortexes to enhance and hasten precipitation developing. So the weak cool air intrusion increased the precipitation in some extent. Moreover, the moving and developing of big value band of the vertical helicity of 925hPa could dictate the place of inverted trough and had better indicative meaning for rainstorm falling area. When the rainstorm happened the area was in the negative big value area of MPV1.

**Key Words:** typhoon inverted trough heavy rain helicity moist potential vorticity

## 引 言

登陆北上直接影响河南的热带气旋并不多见,多数情况下是向北伸至河南的台风倒槽与中高纬冷空气相互作用,使河南出现大暴雨,这类降水称为台风远距离降水。因此,对台风倒槽移动、演变以及与中高纬冷空气结合的准确预报是台风远距离降水预报的关键。以往的研究和实践证明,垂直螺旋度和位涡两个性质不同的物理量对天气系统的移动、演变有很好的指示意义。岳彩军等<sup>[1]</sup>在我国螺旋度的研究及应用中指出,垂直螺旋度充分反映了两个与天气现象紧密联系的物理量(垂直速度、垂直涡度)的配合情况,不仅能在一定程度上反映系统的维持状况,还能反映系统发展、天气现象的剧烈程度。谭志华等<sup>[2]</sup>应用螺旋度理论结合湿度和不稳定条件对“99.8”山东特大暴雨过程进行分析,发现垂直螺旋度的变化对天气系统的移动、发展及暴雨强度有一定的指示意义。文献<sup>[3-6]</sup>应用湿位涡对台风暴雨进行诊断研究,得出了比较有意义的结果。本文应用垂直螺旋度和湿位涡对在 0418 号台风艾利影响下,河南东部出现的特大暴雨过程进行诊断分析,旨在探讨台风远距离降水发生发展的热力学机制和动力学机制,为今后台风远距离降水预报拓宽思路。

## 1 天气形势与降水实况

0418 号热带风暴艾利(AERE)于 2004 年 8 月 20 日 08 时在西太平洋洋面上生成,21 日 20 时发展为台风。25 日 16 时 30 分首次在福建福清市的高山镇登陆,登陆时中心气压 970hPa,近中心风力 12 级。随后台风沿着福建的海岸线往西南方向移动,并于 26 日 10 时 30 分在福建山县登陆,14 时减弱成

热带低压,中心进入广东境内。26 日 20 时 925hPa 台风倒槽向北伸至安徽、河南交界处(图 1a),27 日 02 时台风倒槽伸向河南东部地区(图 1b)。超低空急流在 26 日 20 时建立(图 1a),27 日 02 时急流轴伸向暴雨区,大暴雨落区位于超低空急流轴的左前方(图 1b)。同时段 400hPa 华北南部维持一个东西向的高空急流轴(图 1c、d),暴雨区处于高空急流轴入口区右后侧的强辐散区,有利于引导低层台风倒槽向河南东部伸展。26 日夜地面有弱冷空气从华北南下影响河南(图略),中高纬的弱冷空气侵入台风倒槽西北部,使台风倒槽获得斜压不稳定能量,加剧了河南东部地区的降水。26 日夜到 27 日河南东部四地区出现区域性大暴雨,但主要降水集中在 26 日夜间,其中 3 个气象观测站 12 小时降水量  $R_{12} > 100\text{mm}$ ,约 13 个相邻气象站 6 小时降水量  $R_6 > 50\text{mm}$ ,雨量的时空分布具有明显的中小尺度特征(图 1)。

## 2 垂直螺旋度分析

垂直螺旋度由垂直速度和垂直涡度决定,它能反映出大气在垂直空间上的旋转上升和运动特征。

根据垂直螺旋度计算公式:

$$H_p = - \int \omega \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

由于暴雨区上空有深厚的上升运动( $\omega < 0$ ),所以若有正涡度( $\zeta > 0$ ),则  $H_p > 0$ ,若有负涡度( $\zeta < 0$ ),则  $H_p < 0$ ;为了突出暴雨这一特点,计算时规定,若有  $\omega > 0$ ,则  $h_p = 0$ ;即只计算有上升运动的螺旋度。

图 2 为 0418 号台风高低层垂直螺旋度的演变。26 日 20 时 925hPa 对应台风倒槽顶部附近,安徽和河南东南部交界处有一垂直螺旋度为  $600 \times 10^{-9} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  的大值中心,垂直螺旋度大值带伸向西北暴雨区(图 2a),

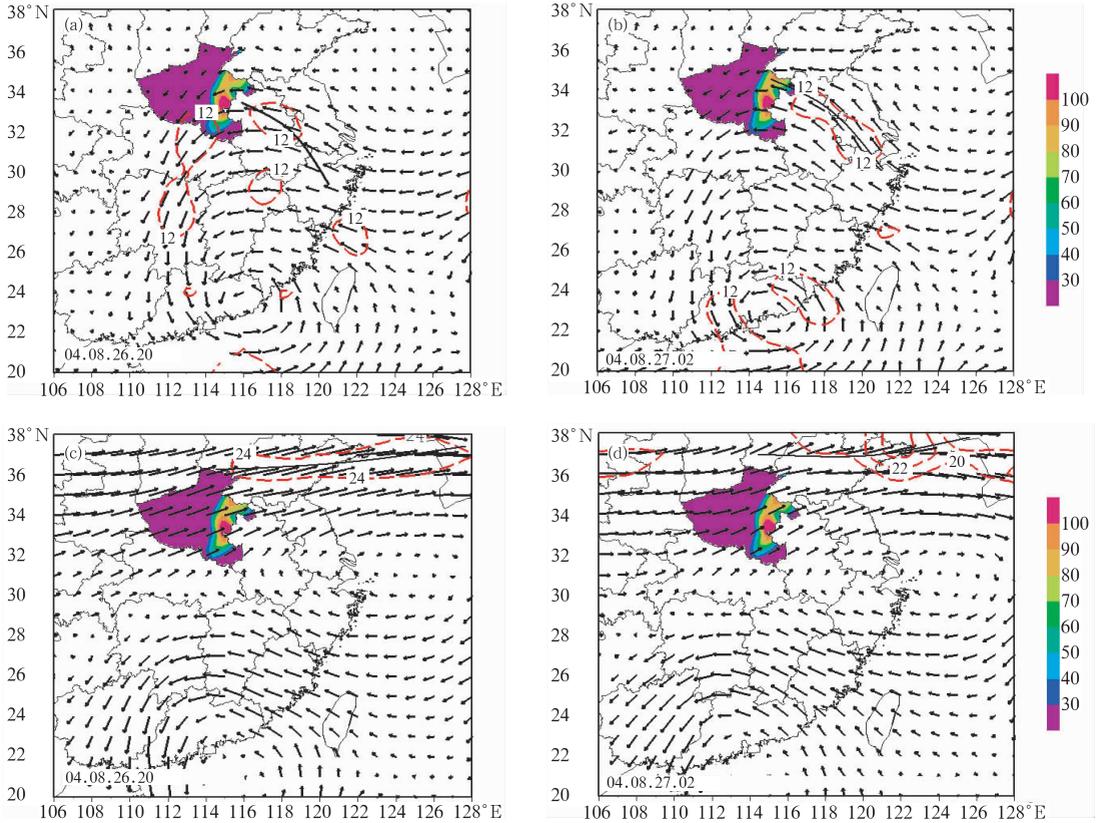


图 1 0418 号台风 925hPa 与 400hPa 风场演变及降水量(单位:mm)  
a. 26 日 20 时 925hPa; b. 27 日 02 时 925hPa; c. 26 日 20 时 400hPa; d. 27 日 02 时 400hPa  
黑实线表示急流轴

预示台风倒槽有向暴雨区伸展的趋势。27 日 02 时(图 2b),低层 925hPa 垂直螺旋度的大值区整个移至暴雨区,与同时次的台风倒槽位置相对应,表明螺旋度的大值区与台风倒槽有很好的对应关系。超过 110mm 的降水区域位于 925hPa 垂直螺旋度为  $500 \times 10^{-9} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  等值线内,表明倒槽及其顶部强烈的旋转上升运动是暴雨发生发展主要的动力机制。图 2c、2d 表明 26 日夜间暴雨区上空 400hPa 均为负的垂直螺旋度控制,这种低层为正高层为负的垂直螺旋度配置有利于该区域垂直运动的发展,从而促使降水产生并加强。

### 3 湿位涡分析

在 P 坐标系中考虑大气垂直速度的水

平变化比水平速度的垂直切变小得多,当忽略  $\omega$  的水平变化时,湿位涡(MPV)守恒方程为:

$$MPV = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} = const \quad (1)$$

将其写成正压项和斜压项两部分:

$$MPV1 = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} \quad (2)$$

$$MPV2 = g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \quad (3)$$

#### 3.1 925hPa 湿位涡特征分析

文献[6]指出,浅薄冷空气从边界层内南下时并不改变边界层上部暖湿空气的环境条件,且有利于触发对流发展,有利于边界层水

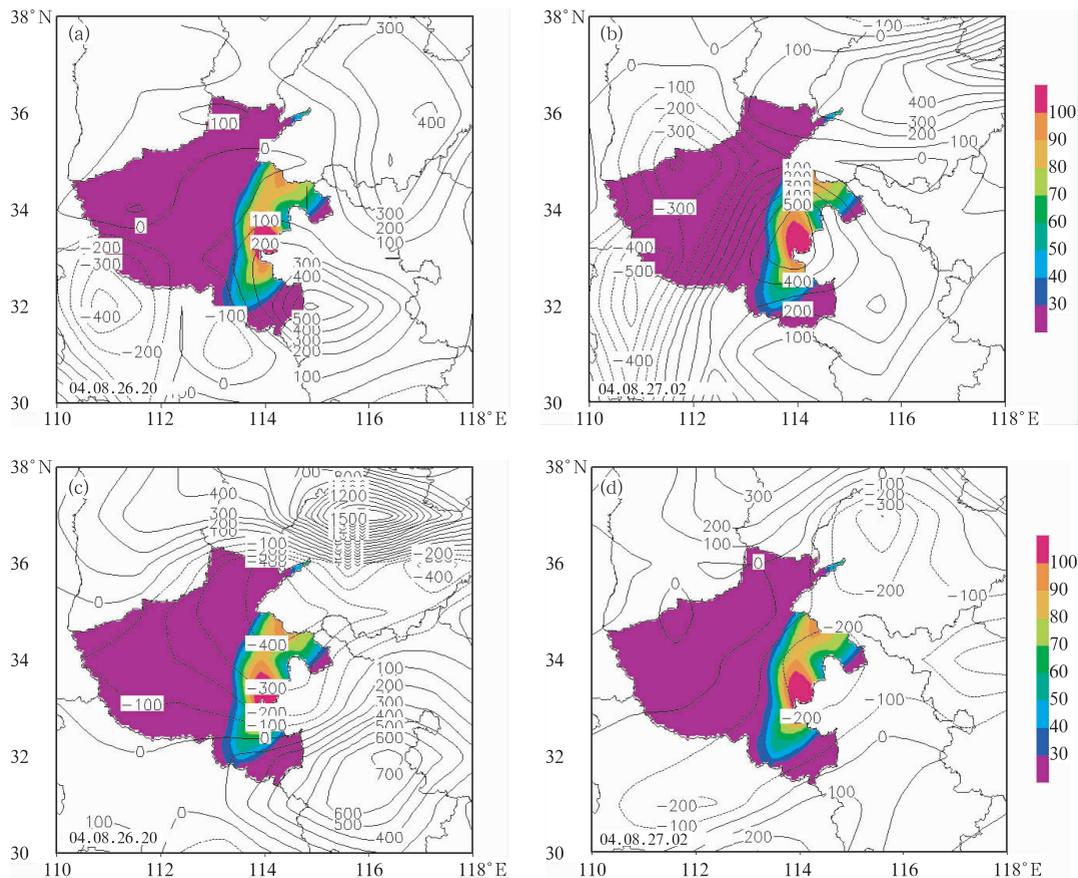


图 2 0418 号台风垂直螺旋度( $10^{-9} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ )演变

a. 26 日 20 时 925hPa; b. 27 日 02 时 925hPa; c. 26 日 20 时 400hPa; d. 27 日 02 时 400hPa

汽向暴雨区高层输送,增加降水量。分析这次暴雨过程中 925hPa  $MPV_1$  的演变可以发现,暴雨发生时,26 日 20 时(图 3a)河南东部地区处于  $MPV_1$  的负值区,  $-0.6 \text{PVU}$  的等值线控制大暴雨区,表明河南东部低层大气处于强的对流不稳定状态,一旦有辐合扰动,气团将获得向上的加速度,产生强烈的对流。27 日 02 时,弱冷空气从华北地区南下侵入到暴雨区低层,改变了暴雨区低层的热力结构,使暴雨区上空的  $MPV_1$  在 6 小时内由负值转为正值,亦  $\frac{\partial \theta_e}{\partial p}$  由大于零转为小于零,受湿位涡守恒的制约,此时垂直涡度将显著增长,导致上升运动加强和水汽的向上输送,有利于降水加强。因此华北地区南下冷空气侵

入暴雨区低层起到了降水增幅的作用。

### 3.2 $\theta_e$ 的垂直分布特征

为了更清楚地反映冷暖空气在此次大暴雨中的作用,沿雨带(南北向)方向,过暴雨中心作  $\theta_e$  的经向剖面图。26 日 20 时  $\theta_e$  的经向剖面图(图 4a)上,  $35^\circ \text{N}$  以南有一从近地面向上延伸至 700hPa 的  $\theta_e$  的高能丘,  $35^\circ \text{N}$  以北有一自 600hPa 层倾斜向南入侵的低  $\theta_e$  带(代表干冷空气),暴雨区低层受  $\theta_e$  高能丘控制,其中高层为低  $\theta_e$  影响,  $\frac{\partial \theta_e}{\partial p} > 0$ ,也就是说这一地区的对流层低层处于对流性不稳定状态;冷空气在暴雨区上空交绥,加强了暴雨区的对流不稳定,强降水落区靠近暖空气一侧。

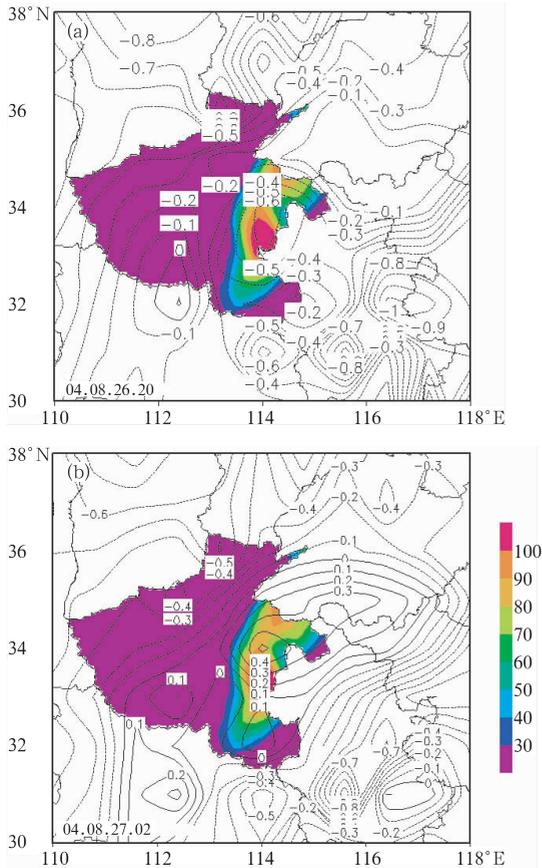


图 3 0418 号台风 925hPa 湿位涡(单位:PVU)  
a. 26 日 20 时; b. 27 日 02 时

27 日 02 时  $\theta_e$  垂直剖面图(图 4b)上,  $\theta_e$  低值带继续倾斜向下南侵。由于此时台风倒槽正处于加强北伸的时段, 暖空气势力较强,  $\theta_e$  低值带从 900hPa 以下侵入暴雨区(等  $\theta_e$  线向南凸)。这股冷空气的入侵, 一方面促使低层暖湿空气向上抬升, 另一方面使低层大气由对流不稳定变为对流稳定, 导致垂直涡度的显著增长。既加强了低层水汽辐合, 又加强了垂直上升运动, 使降水进入加强阶段。

#### 4 结论

以上分析表明垂直螺旋度、湿位涡可较好地反映台风远距离降水的动力和热力条件。低层垂直螺旋度的大值带能很好的示踪

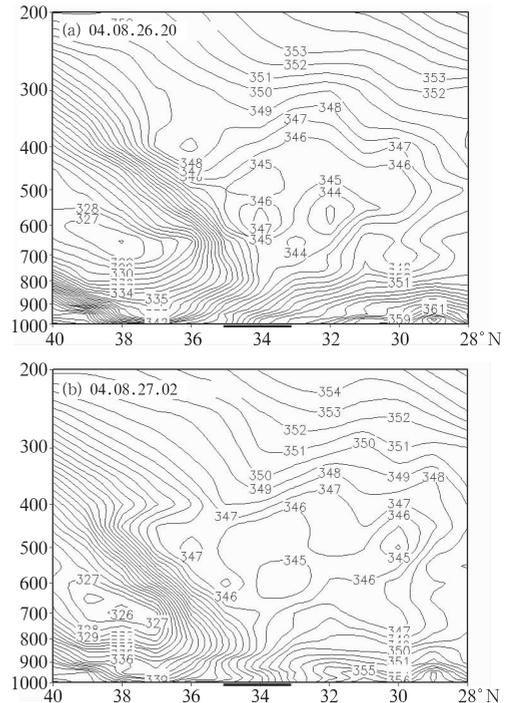


图 4 过 0418 号台风暴雨中心的  $\theta_e$   
经向剖面(单位:K)  
a. 26 日 20 时; b. 27 日 02 时

台风倒槽的位置, 并对强降水的落区有很好的指示意义, 特大暴雨落区位于 925hPa 垂直螺旋度大值中心区域。

弱冷空气从低层侵入, 使暴雨区 MPV1 由负值转变为正值, 导致了垂直涡度加强, 促进了降水的发展。

#### 参考文献

- [1] 岳彩军, 寿亦萱, 寿绍文, 等. 我国螺旋度的研究及应用[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 754-762.
- [2] 谭志华, 杨晓霞. “99.8”山东特大暴雨的螺旋度分析[J]. 气象, 2000, 26(9): 7-11.
- [3] 林毅, 刘铭, 刘爱鸣, 等. 台风龙王中尺度暴雨成因分析[J]. 气象, 2007, 33(2): 22-28.
- [4] 何立富, 尹洁, 陈涛, 等. 0509 号台风麦莎的结构与外围暴雨分布特征[J]. 气象, 2006, 32(3): 93-100.
- [5] 郑峰. 一次热带风暴外围特大暴雨分析[J]. 气象, 2004, 31(4): 77-80.
- [6] 孙兴池, 王建国, 薛德强, 等. 2005 年 9 月 18 日山东突发区域性暴雨过程分析[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(4): 595-600.