

螺旋度在暴雨天气分析与预报中的应用

杨晓霞 华 岩 黎清才 赵 宇

(山东省气象台, 济南 250031)

摘 要 利用常规探空资料, 对 3 次不同系统产生的大暴雨天气过程进行了螺旋度分析, 结果表明: 暴雨区上空 700 hPa 以下螺旋度为正, 300 hPa 以上为负; 暴雨产生在低层正螺旋度中心与高层负螺旋度中心相配合、中低层高温高湿和有对流不稳定能量储存的高能舌区。

关键词 大暴雨, 螺旋度, 影响系统, 温湿条件

分类号 P458

螺旋度(helicity)是近年来引入天气分析和预报的一个重要的物理量, 它的大小反映了旋转与沿旋转轴方向运动的强弱程度。许多研究^[1~3]表明, 它对雷暴、龙卷和大范围暴雨的分析与预报有一定的实用价值。本文应用最优插值客观分析方法得到的客观分析场, 计算了在 3 次大暴雨天气过程中, 100 E ~ 125 E、30 N ~ 44 N 范围内, 1° × 1° 网格点上 9 层标准等压面上的 k -螺旋度, 把它与天气系统及反映大气温湿条件的物理量参数相结合, 对 3 次大暴雨天气进行了分析与研究, 揭示了不同类型暴雨区附近的螺旋度分布特征。

1 k -螺旋度

螺旋度定义为风速与涡度点积的体积分

$$H = \iiint \mathbf{v} \cdot (\nabla \times \mathbf{V}) dv$$

根据 woodall 的观点, p 坐标的局地螺旋度可定义为

$$H = \mathbf{V} \cdot (\nabla \times \mathbf{V}) = \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial p} \right) u + \left(\frac{\partial u}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) v + \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \omega$$

上式右方前两项分别为 i 方向和 j 方向的水平螺旋度, 第 3 项为 k 方向(垂直)螺旋度。为了与已有的习惯一致, 使符合右(左)手定则的螺旋度取正(负)^[6]号, 必须将 k -螺旋度改写为

$$h = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \left(-\frac{\omega}{\rho_g} \right) = W \zeta$$

它为垂直速度与涡度的乘积在 z 坐标中的形式。由于在暴雨区上空有深厚的上升运动($W > 0$), 所以若有正涡度($\zeta > 0$), 则有正螺旋度, 若有负涡度($\zeta < 0$), 则有负螺旋度。

2 不同系统影响下的暴雨过程和温湿场分布

(1) 1996年6月28日夜问,鲁东南地区受江淮气旋影响出现了暴雨和大暴雨天气,28日06时~29日06时,有21个县雨量大于50 mm,6个县雨量在100 mm以上,郯城雨量达146.3 mm,局部出现冰雹和龙卷风天气。

(2) 1996年7月24日,受冷锋式切变线影响,鲁中和山东半岛地区北部出现暴雨和强对流天气,24日06时~25日06时,有29个县的雨量大于50 mm,8个县的雨量大于100 mm,两个大暴雨中心分别位于鲁中的莱芜(144.3 mm)和半岛北部的招远地区,济南市出现了直径为0.8 cm的冰雹天气,鲁中降水主要在24日夜问。

(3) 1996年7月30日,受副高边缘暖式切变线和地面弱冷锋影响,山东境内黄河两岸地区的22个县出现暴雨,4个县出现大暴雨天气,泰安雨量为131.6 mm,博兴雨量达146.6 mm。降水主要集中在30日傍晚至夜问。

在这3次暴雨过程中,暴雨区附近,20时的K指数都大于36,700 hPa上的 θ_e 大于72, $\theta_{e(500-850)}$ 小于0,7月24日20时和30日20时的 $\theta_{e(500-850)}$ 的负值中心达到-10。暴雨产生在高温高湿和有对流不稳定能量储存的高能舌区。

3 螺旋度分布特征

3.1 暴雨区附近螺旋度的水平分布

6月28日20时,暴雨区的上空(700 hPa~500 hPa)为正螺旋度,700 hPa上,暴雨区的西南方向(116 E, 33 N)有一很强的正值中心 $1.800 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (图1)恰好与700 hPa低涡和地面气旋中心相对应。500 hPa上,两个强度为 $2.000 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 、 $1.400 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 正螺旋度中心分别位于暴雨区的西部(116 E, 36 N)和西南部(116 E, 33 N)上空,它们分别位于西风槽前和中低层低涡中心附近(图2)。螺旋度的分布可以反映出500 hPa西风槽与中低层西南涡相结合的征兆。从图1可以看出,气旋中心上空螺旋度呈椭圆型分布,长轴为东北-西南向,地面气旋在500 hPa西风槽前向螺旋度长轴方向的右侧移动。28日14时气旋在恩施北部生成后快速向东北方向移动(24 h行程约2300 km),29日14时到达渤海上空,中心气压降到988 hPa。28日夜问,鲁东南地区出现暴雨和强对流天气,29日02时左右,气旋中心北部的暴雨和强对流区位置与低(高)层正(负)螺旋度相叠置的高温高湿的高能舌区非常一致。

7月24日20时,500 hPa以下,东北-西南向的正螺旋度区与沈阳-太原一线的东北-西南向的切变线配合非常一致,500 hPa上的正螺旋度中心与东北低涡中心相对应,中心位于118 E, 38 N,中心值为 $1.051 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,暴雨区位于500 hPa正螺旋度中心南部150 km左右的等值线密集区(图3)。

7月30日20时,700 hPa上正螺旋度区与地面弱冷锋和中低层副高边缘的暖式切变线相对应。700 hPa上的正值中心(116 E, 36 N)与鲁西的暴雨中心相一致(图4),其中心值($3.320 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)远小于6月28日(图1)气旋上空的中心值;500 hPa为负螺旋度,负值区位于副高西北部边缘的西南风气流中,范围小,强度弱(中心值为 $-4.786 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)(图略)。300 hPa上,两个小于 $-2.200 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的负值中心分别与鲁西和鲁北的暴雨中心相对应(图略)。

3.2 暴雨区上空螺旋度的垂直分布

6月28日20时,气旋上空300 hPa以下为较强的正螺旋度,以上为较强的负螺旋度,高低

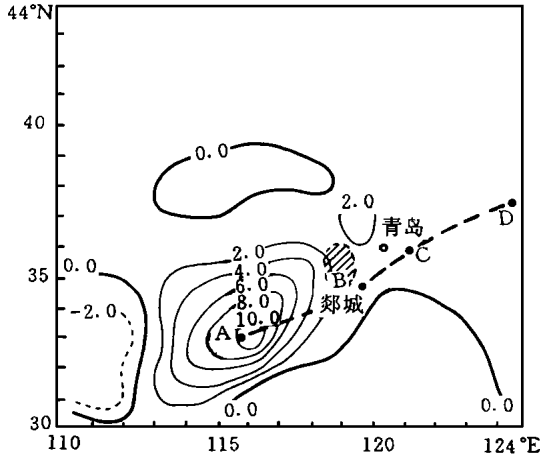


图1 1996年6月28日20时700 hPa螺旋度分布(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
 等值线间隔 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 阴影区为大于 100 mm 的雨区, 粗虚线为气旋路径,
 A、B、C、D 分别表示 28 日 20 时和 29 日 02、08、14 时的地面气旋位置

Fig. 1 700 hPa helicity ($10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) distribution at 2000 BST, June 28, 1996,
 with contour interval of $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and shaded area for $> 100 \text{ mm}$ rainfall.

The cyclone's path is denoted by heavy dashed line. A, B, C and D denote the position of the cyclone
 at 2000 BST, June 28; 0200, 29; 0800, 29 and 1400, 29, respectively

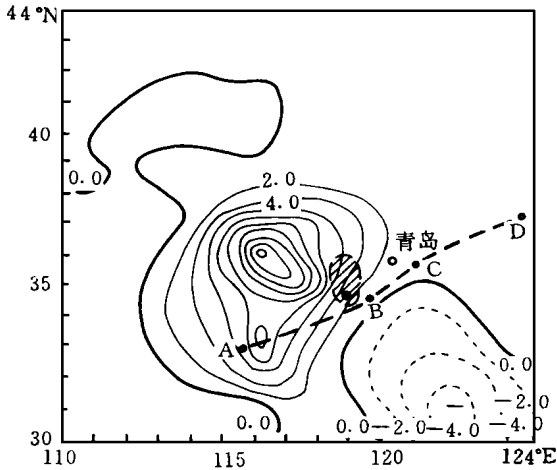


图2 1996年6月28日20时500 hPa螺旋度分布(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
 等值线间隔 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 阴影区为大于 100 mm 的雨区, 粗虚线为地面气旋路径,
 A、B、C、D 分别表示 28 日 20 时和 29 日 02、08、14 时的气旋位置

Fig. 2 500 hPa helicity ($10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) distribution at 2000 BST, June 28, 1996,
 with contour interval of $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and shaded area for $> 100 \text{ mm}$ rainfall.

The cyclone's path is denoted by heavy dashed line. A, B, C and D denote the position of the cyclone
 at 2000 BST, June 28; 0200, 29; 0800, 29 and 1400, 29, respectively

空的正负螺旋度中心相对应, 300 hPa 负中心值为 $-2.400 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (图略)。高层负涡度

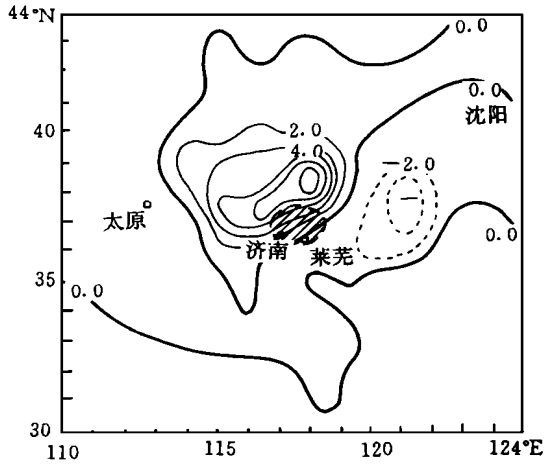


图3 1996年7月24日20时500hPa螺旋度分布(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
等值线间隔 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 阴影区为大于50 mm 雨量

Fig. 3 500 hPa helicity ($10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) distribution at 2000 BST, July 24, 1996,
with contour spacing of $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and shaded area for > 50 mm rainfall

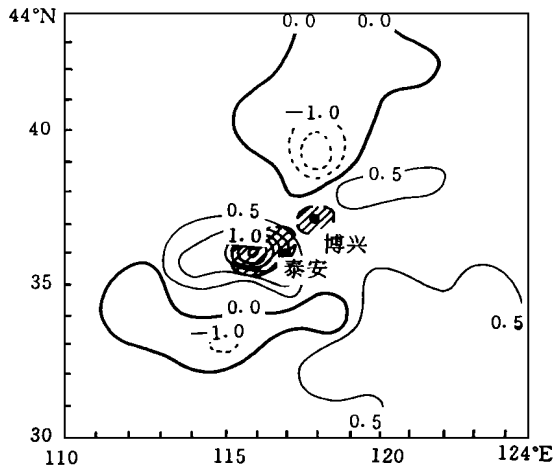


图4 1996年7月30日20时700hPa螺旋度分布(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
等值线间隔 $0.5 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 阴影区为大于50 mm 雨区

Fig. 4 700 hPa helicity ($10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) at 2000 BST, July 30, 1996
with contour interval of $0.5 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and shaded area for > 50 mm precipitation

辐散与中低层正涡度辐合相叠置, 有利于地面气旋发展。

7月24日20时, 从穿越暴雨区的南-北向(117° E)垂直剖面图(图5)可见, 以400 hPa为界, 高层为负螺旋度, 低层为正螺旋度。300 hPa以上较强的负螺旋度中心与低层正螺旋度中心相对应, 250 hPa上中心最强。高低空的负正螺旋度中心在 118° E , 38° N 上空相重迭。

分析7月30日20时穿越暴雨区的东-西向垂直剖面图(36° N)(图6)可见, 暴雨区上空500 hPa以上的负螺旋度中心与700 hPa以下的正值中心相叠置, 暴雨中心与螺旋度中心非常一致。

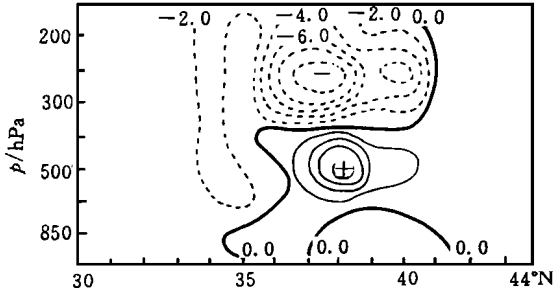


图5 1996年7月24日20时穿越暴雨区螺旋度的117°E垂直剖面图(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
等值线间隔 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Fig. 5 117°E cross section of helicity ($10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) contoured at $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
through the rainband at 2000 BST, July 24, 1996

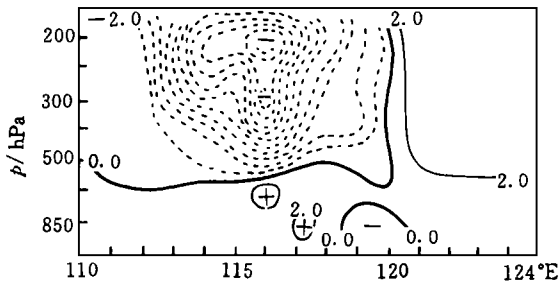


图6 1996年7月30日20时穿越暴雨区螺旋度的东-西向(36°N)垂直剖面图(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
等值线间隔 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Fig. 6 36°N cross section of helicity ($10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) contoured at $2.0 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
through the rainband at 2000 BST, July 30, 1996

从以上3例暴雨过程的螺旋度分布可见,暴雨区上空,低层正螺旋度与高层较强的负螺旋度相对应,高层强烈的负涡度辐散与低层正涡度辐合相配合。若低层正螺旋度较强,并且达到500 hPa以上,表明低层正涡度辐合强,对流发展强,会出现暴雨、冰雹或龙卷风天气(例如6月28日和7月24日);若低层正螺旋度较弱且只在500 hPa以下,表明低层正涡度辐合较弱,对流不旺盛,只产生暴雨天气(如7月30日)。

4 结 论

(1) 螺旋度的水平分布特征与天气系统密切相关。根据气旋中心螺旋度的水平分布特征,可以预报气旋移动方向和影响区域。气旋向700 hPa正螺旋度长轴方向的右侧移动,暴雨产生在气旋中心的东北部、中低层正螺旋度舌区;冷锋切变线暴雨产生在500 hPa正螺旋度中心的南部150 km左右;副高边缘暖切变线暴雨与700 hPa上的正螺旋度中心和500 hPa以上的负螺旋度中心相一致。

(2) 暴雨区上空700 hPa以下都为正螺旋度,300 hPa以上都为较强的负螺旋度,500 hPa~400 hPa之间为“模糊”层。系统不同,螺旋度的垂直分布也不同。气旋和冷锋产生的暴雨区上空,正螺旋度层较高,400 hPa以下有较强的正螺旋度,以上为较强的负螺旋度。而副高边缘的暖切变线暴雨区上空,正螺旋度较弱且高度较低,在500 hPa就已转为负螺旋度。

(3) 螺旋度是代表大气旋转与沿旋转轴方向运动强弱的物理量, 它反应了暴雨区附近的动力场特征。可把螺旋度与热力参数相结合用于暴雨分析和预报中。

参 考 文 献

- 1 伍荣生. 大气动力学. 北京: 气象出版社, 1990. 96 ~ 101
- 2 杨越奎, 吴宝俊, 沈文海, 等. '91. 7' 梅雨锋暴雨的螺旋度分析. 气象学报, 1994, 52(3) : 379 ~ 384
- 3 吴宝俊, 徐晨海, 刘延英, 等. 螺旋度在分析一次三峡大暴雨中的应用. 应用气象学报, 1996, 7(1) : 108 ~ 111

ANALYSIS OF HELICITY IN RAINSTORM PROCESSES WITH THE APPLICATION TO FORECASTING

Yang Xiaoxia Hua Yan Li Qingcai Zhao Yu

(Shandong Weather Center, Jinan 250031)

Abstract Conventional soundings were used to investigate the helicity in three rainstorm events related to different systems. It turns out that helicity is positive below 700 hPa and negative above 300 hPa over the rainband; rainfall is generated where the positive and negative helicity centers are available, high temperature and humidity areas existent at mid and low levels, and a high-energy tongue of convective unstable energy storage present.

Keywords rainstorm, helicity, affecting system, temperature and humidity characteristics