

## 螺旋度——预报强风暴的风场参数

章东华

(空军气象学院, 南京 211101)

## 提 要

介绍了螺旋度概念, 指出螺旋度作为描述环境风场是否有利于强对流风暴生成的一个物理参数, 在业务预报中具有实用价值。并用实例讨论了将其用于强对流预报时应注意的问题。

关键词: 螺旋度 强对流风暴 预报

## 引 言

风的垂直切变是预报强对流风暴的一个重要参数。最近的研究工作表明, 在一个给定的大气热力条件下, 环境风场的垂直切变特征, 对雷暴的结构、形态以及活动有着重要的影响。Weisman 和 Klemp(1982)指出, 要形成长生命期的对流风暴, 需要在风的垂直切变和大气不稳定能量之间达到某种平衡状态, 即总体  $Ri$  数要适中<sup>[1]</sup>。Davies-Jones(1984)认为, 在离地面以上几公里高度范围内, 风随高度顺转是风暴旋转发展的一个关键因子, 他指出, 大多数强风暴系统发生在这样的环境风场中, 即 0—3km 内的风暴相对风速大于  $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 风向随高度顺转角度大于  $90^\circ$ <sup>[2]</sup>。在这样的环境中, 低层相对于风暴的入流, 其水平涡度矢量主要是沿气流方向的, 当这支入流进入风暴内部后, 便开始倾斜上升, 产生围绕垂直轴线的气旋式旋转运动, 从而有利风暴的发展。

螺旋度(Helicity)就是一个用于衡量环境风场具有多少沿气流方向的水平涡度(Streamwise vorticity)及其贡献的参数。Lilly(1986)讨论了螺旋度在超级雷暴单体中的作

用, 并证明了螺旋度对于长生命期的雷暴是至关重要的<sup>[3]</sup>。最近, Davies-Jones 等人(1990)将螺旋度概念应用于观测研究中, 证明了螺旋度可以作为一个预报强风暴的参数用于业务工作<sup>[4]</sup>。目前, 美国国家强风暴预报中心(NSSFC)已经开发了一套计算螺旋度的程序供业务使用<sup>[5]</sup>。

本文介绍了螺旋度的概念, 并通过实例计算, 给出了强对流天气发生时螺旋度的一般数量概念。

## 1 螺旋度的概念

在局地直角坐标系中, 涡度可以表示为  $\vec{\omega} = \nabla \times \vec{V} = \xi \vec{i} + \eta \vec{j} + \zeta \vec{k}$ , 这里  $\xi = (\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x})$ ,  $\eta = (\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x})$ ,  $\zeta = (\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y})$ 。在研究对流尺度问题时, 通常可以略去涡度的垂直分量, 并假设水平方向上垂直速度的变化可以略去, 即水平涡度简化为:

$$\xi \approx -\frac{\partial v}{\partial z}, \eta \approx +\frac{\partial u}{\partial z}$$

用矢量形式表示为:

$$\vec{\omega}_H = \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_H}{\partial z}$$

这里  $\vec{\omega}_H$  为水平涡度矢量,  $\vec{V}_H = (u\vec{i} + v\vec{j})$ 。由

此可见,环境风场的水平涡度,主要是由风的垂直切变所引起的, $\vec{\omega}_H$ 的方向指向垂直切变矢量的左侧90度。

在一个跟随风暴一起运动的相对坐标系中,流入风暴的低空气流的水平涡度矢量方向主要是顺气流方向的,空气微团的“旋转”是按照右手定则进行的,即空气微团呈螺旋式旋转进入风暴内部,当空气微团进入上升气流后,其旋转轴随之向上倾斜,将水平涡度转化为垂直涡度,使空气微团发生气旋式旋转。因而上升气流气旋性旋转和对流风暴单体来源于环境风场沿气流方向的水平涡度。由于上升气流将水平涡度转化为垂直涡度,所以重要的是相对于风暴的风场,而不是相对于地面的风场。

为了定量描述沿气流方向上的水平涡度大小和入流强弱对风暴旋转性的贡献,引入螺旋度概念是方便的。考虑到风暴入流空气主要来自于对流层低层几公里范围内,定义螺旋度  $H$  为:

$$H = S_0^2 (\vec{V}_H - \vec{C}) \cdot \vec{\omega}_H dz$$

式中  $\vec{V}_H = (u(z), v(z))$  为环境风场,  $\vec{C} = (C_x, C_y)$  为风暴传播速度,  $\vec{\omega}_H = \hat{k} \times \frac{d\vec{V}_H}{dz}$  为水平涡度矢量,  $h$  为气层厚度,通常取  $h = 3\text{km}$ 。螺旋度的单位是  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。因此,螺旋度可以理解的低层大气中相对于风暴的风速与风随高度顺转的乘积。大的正值螺旋度是有利于长生命期对流风暴发生发展的环境条件, Davies-Jones 等人(1990)将螺旋度  $H = 150\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$  作为强对流风暴发生发展的临界值<sup>[4]</sup>。

## 2 强对流个例

根据 Davies-Jones 等人(1990)的推导<sup>[4]</sup>,利用单站探空风资料,计算螺旋度的公式可以写成如下形式:

$$H = \sum_{n=0}^{N-1} [(u_{n+1} - C_x)(v_n - C_y) - (u_n - C_x)(v_{n+1} - C_y)]$$

式中  $(u_0, v_0)$  为地面风,  $(u_1, v_1), \dots, (u_{n+1}, v_{n+1})$  依次为 0 到  $h$  气层内各高度上的风,  $(u_n, v_n)$  为  $h$  高度上的风。

利用北京地区测风资料,计算了 6 个强对流典型个例发生前夕的螺旋度。风暴速度  $\vec{C}$  是这样确定的:以 850hPa 至 400hPa 气层中的平均风为标准,风向向右偏转 40 度,风速的 75% 定义为风暴速度  $\vec{C}$ 。

个例 1:1985 年 6 月 2 日

密云县境内下午 15 时 30 分—16 时 55 分出现降雹,最大雹粒直径 7cm,一般为 1—2cm,22000 亩小麦和 3 万棵果树受灾,4000 间瓦房损坏。当天 08 时 500hPa 形势为槽后型。根据 14 时北京测风资料计算的螺旋度为  $208\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ,对应的风速矢端迹图(图略)清楚地显示出在 3km 以下风随高度顺转,这种环境风场极有利于气旋性的右移风暴的发展。

个例 2:1985 年 8 月 8 日

房山、大兴、平谷、密云等地下午 15 时 00 分—20 时 00 分出现降雹,最大雹粒直径为 3cm,最小如玉米粒,平谷、密云、石景山部分地区还出现了 7—8 级大风。粮田受灾面积达 60855 亩,果树受灾面积 5000 亩。上午 08 时 500hPa 形势为东北冷涡型。根据北京 14 时测风记录计算的螺旋度为  $157\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ ,3km 以下风随高度顺转明显。

个例 3:1986 年 7 月 8 日

昌平、密云、延庆、平谷傍晚 19 时 30 分—20 时 47 分,出现降雹,雹粒大似卫生球,小如黄豆,怀柔、昌平还出现了 8—9 级大风。当天 08 时 500hPa 形势为东北冷涡型,根据 19 时北京测风计算的螺旋度为  $219\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。

个例 4:1983 年 7 月 25 日

延庆 21 时 05 分—21 时 20 分出现降雹,雹粒大如鸡蛋,小似玉米粒。当天 08 时

500hPa 为斜槽型形势,由 19 时北京测风资料计算的螺旋度为  $219\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。

个例 5:1991 年 6 月 4 日

西郊、通县傍晚 18 时 52 分开始出现雷雨和大风天气,当天 08 时 500hPa 形势为斜槽型,由 19 时北京测风计算的螺旋度为  $152\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。

个例 6:1991 年 7 月 9 日

08 时 500hPa 为东北冷涡型形势,晚上 21 时 45 分开始在涿县、沧县、静海、北京西郊出现了雷雨和大风天气,根据 19 时测风资料计算的螺旋度为  $169\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。

### 3 结语

螺旋度,作为描述环境风场是否有利于强对流风暴生长的一个物理参数,在业务预报中具有实用价值。螺旋度越大,越有利于风暴的发展。本文中列举的北京地区强对流典型个例中,螺旋度都很大,6 例都达到了 Davies-Jones 的临界值( $H=150\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ )。但是,这只是问题的一个方面。当螺旋度小于这个临界值时,不能排除发生强对流的可能性。因为螺旋度是一个极容易变化的参数,在一些观测研究中已经发现它可以在 1~2 小时内迅速增大<sup>[4]</sup>。事实上,在北京地区,当螺旋

度小于  $150\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$  时发生强对流的个例并不少见。因此,在业务使用时,应结合其它参数和方法,综合分析、比较判断,才能得出较为准确的预报。

风暴速度  $\vec{C}$  对于螺旋度是十分敏感的,根据不同的风暴速度计算的结果其差别可以很大。因而如何确定风暴速度是一个首先要解决的问题。通常风暴速度可由雷达测定或直接从观测确定,也可以根据垂直方向上平均风来估计,其效果要经过验证。

### 参考文献

- 1 Weisman, M. L., J. B. Klemp. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.* 1982, 110: 504-520.
- 2 Davies Jones, R. Streamwise vorticity: The origin of updraft rotation in supercell storms. *J. Atmos. Sci.*, 1984, 41: 2991-3006.
- 3 Lilly, D. K. The structure, energetics and propagation of rotating convective storms. Part I, Helicity and storm stabilization. *J. Atmos. Sci.*, 1986, 43: 126-140.
- 4 Davies-Jones, R., et al. Test of helicity as a forecast parameter. *Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms*, AMS, 1990.
- 5 Leftwich, P. W. On the use of helicity in operational assessment of severe local storm potential. *Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms*, AMS, 1990.

## Helicity, a Parameter for Forecasting Severe Convective Storms

Zhang Donghua

(Air Force Institute of Meteorology)

### Abstract

The concept of helicity, defined as the inner product between streamwise vorticity and storm relative winds, has been reviewed. Six cases of severe convective storms over Beijing area are presented to acquaint the forecaster with a range of expected values. The results indicate that helicity may serve as a forecast parameter for severe convective storms.

**Key Words:** helicity severe convective storm forecast