

螺旋度在对流天气预报中的应用研究进展

李耀东^{1,2} 刘健文² 高守亭¹

(1 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 2 北京航空气象研究所, 北京 100085)

摘要 螺旋度表征流体旋转与沿旋转方向运动的强度, 在等熵流体中具有守恒性。螺旋性是维持大气运动的基本物理图案: 边界层流体、湍流、强风暴、热带气旋等都有较强的螺旋结构; 对流风暴常发生在螺旋度值大的地方, 流体稳定性与螺旋度密切相关, 高螺旋度阻碍了扰动能量串级, 对超级单体风暴的维持有重要作用; z 螺旋度对大范围暴雨有较好的指示意义。风暴相对螺旋度对决定对流风暴类型有重要作用, 其大小决定超级单体是否能形成中气旋, 同时, 其对冰雹预报有一定的指示意义; 风暴相对螺旋度用于预报时计算的难点在于确定预报风暴移动速度。热力场与螺旋度有内在联系, 地面相对螺旋度可视为地转风或实际风引起温度平流的一个量度。

关键词 螺旋度 风暴相对螺旋度 地面相对螺旋度 对流风暴预报

引言

在磁流体或电动力学中, 通常引入螺旋度概念来研究磁场的结构和特点。如在磁流体中, 流动呈现螺旋性特点时, 平均磁场就会加强。在大气科学方面, 自 20 世纪 80 年代开始研究螺旋度在大气运动中的贡献, 并试验其在对流天气分析预报中的应用。研究表明, 螺旋度对雷暴、龙卷、大范围暴雨等天气的发生有一定的指示作用。

旋转性和上升运动是对流系统最重要的共同特征, 而螺旋度把这两个特征综合在一起。从定义上看, 螺旋度是表征流体旋转边沿旋转方向运动特性的物理量, 在等熵流体中具有守恒性^[1]。其严格的表达式为:

$$H = \iiint V \cdot (\nabla \times V) d\tau \quad (1)$$

而通常气象上所使用的螺旋度是指局地螺旋度 h , 定义为:

$$h = V \cdot |\nabla \times V| = u \left| \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right| + v \left| \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right| + w \left| \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right| \quad (2)$$

螺旋度的大小, 反映了旋转与沿旋转轴方向运动的

强弱程度。式(2)中右端 3 项分别把 x, y, z 方向的风速和涡度的分量联系在一起, 相应称之为 x 螺旋度、 y 螺旋度、 z 螺旋度, 它们对螺旋度有共同的作用, 但各项本身也有其明确的物理意义。

自 20 世纪 80 年代以来, 国内外的气象学者将螺旋度应用到强对流风暴的旋转发展和维持机制以及和对流天气相关的分析和预报中, 提出了风暴相对螺旋度的概念, 研究其在强风暴系统发展中的演变, 并研究了热力场与局地螺旋度之间的内在联系。本文将对近年来关于这些物理量的特性及应用的主要研究成果作一回顾和总结。

1 螺旋性与大气运动

螺旋性在大气中广泛存在。旋转的超级单体雷暴具有很高的螺旋度; 另外, 由于在边界层存在较强的风随高度的切变, 因而边界层流体具有很强的螺旋度; 湍流运动也具有很强的螺旋性。

流线涡是螺旋度在气象学研究、应用的前身。1984 年 Davies-Jones^[2] 在研究超级单体风暴中上升气流具有较强旋转性的原因时, 将环境场涡度在相对风暴平均风向上的分量定义为流线涡(后来发展为风暴相对螺旋度), 并指出在相对风暴参考系下,

若涡度在流线方向上的分量为正,则垂直速度与垂直涡度是正相关的。这种流线涡作用正是超级单体风暴中上升气流为何具有较强旋转性的原因。1986年 Lilly^[3,4]将螺旋度更正式地引入到气象研究中,指出强对流风暴具有高螺旋度特征,且稳定的强对流风暴常发生在螺旋度值大的地方;高螺旋度阻碍了扰动能量串级,对超级单体风暴的维持有重要作用。Etling^[5]讨论了大气中存在的几种典型螺旋流,并指出流体稳定性与螺旋度密切相关。1992年 Wu 等^[6]对存在切变热对流扰动中螺旋度的产生以及螺旋度与非线性能量传输之间的关系进行了研究。

螺旋度的重要性不仅体现在理论研究方面,还在于它在强对流天气分析预报中的应用。随着螺旋度的理论研究、数值模拟和观测资料分析的逐步深入^[7-13],螺旋度渐成为引入天气分析预报中的一个重要物理量。

国内的气象学者也较早对螺旋度的性质、理论和应用做了很多研究。1989年伍荣生^[14]等推导出完全的螺旋度方程,并指出:若不计摩擦,在准地转运动中,大气的螺旋度具有守恒的性质。Tan 等^[15]研究了螺旋度在边界层和锋区的动力性质,表明由于摩擦效应,边界层的螺旋度通常是正的,最大的螺旋度通常在边界层区;在某些条件下,螺旋度反映温度平流的效应,由此,螺旋度可以用于描述锋生和锋区的结构;在锋生过程中,螺旋度变化幅度随时间而增长。

大气的螺旋特性不局限于中小尺度天气系统。1977年巢纪平、叶笃正^[16]在研究正压大气螺旋行星波动力学时指出:螺旋性是维持大气环流物理图案的主要角色。刘式适、刘式达^[17]将不可压缩流体速度场进行了螺-极分解以研究三维大气运动的垂直速度、涡度和螺旋度,得出:无摩擦大气运动满足广义地转关系的定常解就是大气运动的 Beltrami 流;此外,应用小参数方法可得出:大气运动的螺旋度紧密地与稳定层结条件下的垂直运动和温度平流有关——上升运动和暖平流对应于正螺旋度,下沉运动和冷平流对应于负螺旋度。陈华、谈哲敏^[18]将螺旋度引入热带气旋,对热带气旋螺旋度的结构特征及其在热带气旋发展过程中的演变过程进行了研究。结果表明,热带气旋这种具有较强螺旋性的天气系统,其发展过程也就是螺旋度增强的过程,螺旋

度对热带气旋稳定过程的维持及其长久的生命期具有重要的作用。刘式达、辛国君等^[19]还应用描写大气运动的方程组求得了中尺度涡旋的三维定常流场以及相应的压力场和温度场,其中的三维流场构成了物理空间一个非线性自治动力系统。用此方法可解析地得出:若中尺度涡旋的下层流体呈气旋(反气旋),且伴有水平辐合(散)的螺旋转动,则通过上升(下沉)运动,其上层流体呈反气旋(气旋)且伴有水平辐散(辐合)的螺旋转动,从而形成中尺度涡旋的三维螺旋结构。这些都与实际大气中的中尺度涡旋结构相似。这也表明:在旋转有粘性的大气中,为了保证质量守恒,必须有这种螺旋结构。

费世强、谈哲敏^[20]利用强风暴模式^[21]成功地模拟了一次强对流风暴过程,讨论了风暴发展过程中螺旋度和超螺旋度的空间结构和时间演变特征,以及其在强风暴系统的对流发展过程中的动力学作用。可以看出,初始环境场的螺旋性结构有利于风暴的发展。在风暴发展阶段,低螺旋度有利于大尺度向对流尺度的能量串级,而在风暴成熟阶段,高螺旋度则有利于对流单体的能量维持,从而形成长生命周期的对流系统。在风暴的发展过程中,风暴流场结构具有向 Beltrami 流结构的调整趋势,螺旋度向高值发展。

螺旋度在我国的暴雨和强对流天气分析和预报中也有较广泛的应用。

杨越奎、刘玉玲等^[22]用螺旋度分析了1991年7月江淮梅雨暴雨,发现 z 螺旋度与几次中尺度暴雨过程有很好的对应关系。吴宝俊等^[23,24]用地转螺旋度分析了一次三峡大暴雨过程,也发现 z 螺旋度的垂直分布结构与暴雨过程有一定的联系。李耀辉、寿绍文^[25]根据螺旋度(Helicity)理论,分析了一次暴雨过程中暴雨演变以及对流层低层的中尺度低涡及地面气旋发生发展的原因,结果表明:正的旋转风螺旋度大值中心及其演变较好地对应和反映了暴雨中心及造成暴雨的中尺度涡旋的发生位置及演变;较大的螺旋度值是暴雨及低层中尺度低涡和地面气旋系统发生发展的机制之一。

2 风暴相对螺旋度及其应用

Woodall^[26]认为只有相对于风暴的螺旋度才真正对风暴维持和发展有实际意义。他提出了风暴相对螺旋度(SRH)的概念。风暴相对螺旋度异于局地

螺旋度在于其表达式中水平风速为相对于风暴的风速。

风暴螺旋度的概念提出以后,即被用于风暴发生环境条件评估及风暴类型的预报研究。在强风暴发生前,涡度的垂直分量一般比风的垂直切变小一个量级以上,因而垂直涡度分量相对于水平涡度分量可以忽略掉;同时,在强天气发生之前,可以认为垂直速度本身及其在水平方向上的变化不大,可以略去。另外,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,Davies-jones等^[27]在上式的基础上发展了一个利用单站探空风资料计算低层总体风暴相对螺旋度的公式:

$$H(c) = \int_0^z (V - C) \cdot \Omega_{xy} dz \quad (3)$$

其中, $V = (u(z), v(z))$ 为环境场水平风, $C = (C_x, C_y)$ 为风暴水平移动速度, $\Omega_{xy} = k \wedge \frac{\partial V}{\partial z} = (-\frac{\partial v}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial z})$ 为水平涡度矢量, z 为风暴入流厚度,通常取为 3000 m。螺旋度的单位是 $m^2 \cdot s^{-2}$ 。将 Ω_{xy} 代入上式,则:

$$H(c) = - \int_0^{3000} k \left| (V - C) \wedge \frac{\partial V}{\partial z} \right| dz \quad (4)$$

由此可见,对于局地中小尺度对流风暴而言,在低层螺旋度可以理解为相对于风暴的风速与风随高度顺转(或逆转)数值的乘积,当风向顺转时,风暴相对螺旋度为正;反之,风暴相对螺旋度为负。

风暴相对螺旋度用于诊断分析时计算不存在难度,但若用于风暴预报时,首先必须确定风暴移动速度 C ,目前确定 C 的方法尚不统一。Maddox^[28] (M76) 估计风暴运动以平均风速 75 % 的速度,移向平均风右侧的 30° 方向,这种方法对于北美经典超级单体应用效果较好。Colquhoun^[29] 根据上升气流和下沉气流之间的质量通量的平衡,提出了另外一种估算雷暴运动的方法。Davis^[30] 先后两次提出了对 M76 方法的修正。而 Ras mussen^[31] 提出了预报超级单体运动的相对切变法,这种方法可以用于左移超级单体的预报。

风暴相对螺旋度的计算需要有较好的风场资料,常规 12 h 间隔相对于大多数强对流风暴的生命史来说太长了。在美国,自 1990 年以来,风速廓线仪示范网(WPDN)开始给用户提供准确的、时间间隔短的环境风场资料。此风速廓线仪每 6 min 进行

一次资料处理,每 1 h 求一次平均^[32]。目前,美国已利用 WPDN 提供时间高分辨率的风场资料来计算螺旋度,然后将螺旋度作为强风暴的一个预报参数,并投入业务使用。

与其它风场环境参数相比,SRH 有如下特性:①理论上与上升气流旋转有关;②考虑了风暴的移动;③正比于相对风暴风的大小和风的垂直切变;④由于包含的是积分,而不是微分,所以在计算上是稳定的;⑤对分辨率、平滑、内插或观测导致的误差不十分敏感。由于以上特性,近年来在研究环境风场对强风暴的作用时,常用到该物理量。Davis 等^[27] 认为,与超级单体内中气旋形成有关的 SRH 值大约是 $150 m^2 \cdot s^{-2}$; Brooks 等^[9] 模式模拟表明,中气旋能够在 SRH 值大于 $120 m^2 \cdot s^{-2}$ 的环境中形成。

在我国,风暴相对螺旋度(有时简称螺旋度)也有一定的应用^[33]。李英^[34] 用风暴相对螺旋度对滇南的冰雹大风天气进行分析,结果表明:低层螺旋度的演变对滇南冰雹大风天气有一定的指示意义;低层螺旋度的大值中心与降雹区比较靠近;螺旋度的垂直分布反映了降雹区大气的一些动力和热力特征。李向红^[35]、郑传新^[36] 等研究发现,螺旋度对我国局部地区强对流天气发生有一定的指示意义。

3 热力场对局地螺旋度影响

从定义和表达式都可看出,螺旋度是一个动力性参数。通常,大气的热力分布状况决定了动力场的演变,螺旋度也不例外。以下是 TR97^[37] 关于温度平流对局地螺旋度影响的研究。

选取地面为参照系,运用静力学方程,可得 p 坐标系中局地螺旋度的表达式:

$$H(0) = \int_{p_0}^{p_z} k \cdot \left| V \wedge \frac{\partial V}{\partial p} \right| dp \quad (5)$$

其中, p_z 与 p_0 分别为与高度 z 和 0 处对应的气压。从式(5)看出,在积分上、下限 p_z 和 p_0 固定的情况下,可用 $k \cdot (V \wedge \frac{\partial V}{\partial p})$ 表示地面相对螺旋度。

若实测风 V 很接近地转风 V_g ,则利用热成风并利用矢量代数公式可得:

$$H(0) = \int_{p_0}^{p_h} \frac{R}{f p} (-V_g \cdot \nabla_p T) dp \quad (6)$$

其中, ∇_p 为 Hamilton 算子(或称梯度算子)。

式(6)表明,当实测风很接近地转风时,相对地

面螺旋度是与平均地转温度平流相联系的。考虑到非地转风分量 $V_a = V - V_g$, 则可将式(5)中被积函数写为:

$$k \cdot \left| V \wedge \frac{\partial V}{\partial p} \right| = k \cdot \left| V \wedge \frac{\partial V_g}{\partial p} \right| + k \cdot \left| V \wedge \frac{\partial V_a}{\partial p} \right| \quad (7)$$

式(7)右端第1项可变换为: $\frac{R}{fp} (-V \cdot \nabla_p T)$ 。这表明, 水平温度梯度(斜压性)可产生螺旋度。

在计算低层的螺旋度时, 一般认为变压风是低层非地转风的一个很好的近似, 即:

$$V_a = -\frac{1}{f^2} \nabla_p \left| \frac{\partial \phi}{\partial t} \right| \quad (8)$$

其中 $\phi = gz$ 是重力位势。

运用静力平衡, 经过适当变换, 式(7)右端第2项为: $\frac{R}{f^2 p} k \cdot \left| -V' \cdot \nabla_p \left| \frac{\partial T}{\partial t} \right| \right|$, 其中 $V' = -k \wedge V$ (V' 的大小与 V 相同, 其方向是 V 顺时针旋转 $\pi/2$ 后的方向)。这表明, 当实际风左边的局地温度变率大于风的右边时, 变压风的垂直变化也可产生螺旋度。

这样, 式(5)中被积函数(代表了局地螺旋度)可写成:

$$k \cdot \left(V \wedge \frac{\partial V}{\partial p} \right) = \frac{R}{fp} (-V \cdot \nabla_p T) + \frac{R}{f^2 p} \cdot \left| -V' \cdot \nabla_p \left| \frac{\partial T}{\partial t} \right| \right| \quad (9)$$

若将风速大小估计为 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 温度梯度估计为每 $100 \text{ km } 4 \text{ K}$, 上式右端第一项的量级为 $10^{-2} (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{Pa}^{-1})$, 该量若变换为地面(接近海平面)与 700 hPa 两个层次之间的地面相对螺旋度, 则其大约相当于 $300 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。为了使右端第2项和第1项有相同的量级, 实际风产生的不均匀加热率, 必须在 100 km 距离内要达到的差为每 $6 \text{ h } 10 \text{ K}$ 。在实际大气中, 除非是在非常特殊的情况下, 上述条件是不可能满足的。这样就可以得出结论: 变压风的垂直变化对地面相对螺旋度的贡献要远小于温度平流对地面相对螺旋度的贡献。

由此可看出: 在一般情况下, 可以把地面相对螺旋度视为地转风或实际风引起的温度平流的一个量度。

4 总结与讨论

螺旋性是大气运动的一种基本流型。强风暴、

热带气旋的发展过程就是螺旋性增强的过程, 高螺旋度阻止了能量的串级, 对强风暴和热带气旋的维持有重要作用。在旋转有粘性的大气中, 为了保证质量守恒, 若中尺度涡旋的下层流体呈气旋(反气旋), 且伴有水平辐合(辐散)的螺旋转动, 则通过上升(下沉)运动, 其上层流体呈反气旋(气旋)且伴有水平辐散(辐合)的螺旋转动, 从而形成中尺度涡旋的三维螺旋结构。

风暴螺旋度被用于风暴发生环境条件评估及风暴类型的预报研究, 中气旋及龙卷事件与风暴相对螺旋度高值有紧密联系。由于风暴发生前后及风暴发展过程中动力场在时间和空间的变化很大, 因此风暴相对螺旋度在强风暴生命史中随时间和空间非常易变; 风暴相对螺旋度用于预报时, 关键在于确定风暴移动速度。风暴移速的确定存在一定难度, 目前方法尚不统一, 因此使用这一物理量时必须经过一定的验证。另外, 风暴相对螺旋度只反映了风暴某些动力状况, 现在, 已有把其与反映能量作用的对流有效位能结合起来的相关研究和应用, 如能量螺旋度指数^[38], 这将有对风暴的分析和预报有一定帮助。

螺旋度与热力分布存在一定的内在联系。与风暴相对螺旋度相对应, 地面相对螺旋度也是螺旋度的一种简化形式, 可用于表示大气斜压性对风暴生成环境条件的影响。在一般情况下, 实测风接近地转风, 地面相对螺旋度可视为地转风或实际风引起的温度平流的一个量度, 也从侧面反映出稳定度的变化倾向, 但其对强风暴及其类型的预报作用有待进一步研究。

参考文献

- 1 Moffat H K. On the knottedness of tangled vortex lines. *J. Fluid Mech.*, 1969, 35: 117 - 128
- 2 Davies-Jones R. Streamwise velocity: 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: Energy exchange with the mean flow. *J. Atmos. Sci.*, 1986, 43: 113 - 125
- 4 Lilly D K. The structure, energetics and propagation of rotating convective storms. Part II: Helicity and storm stabilization. *J. Atmos. Sci.*, 1986, 43: 126 - 140
- 5 Etling D. Some aspects of helicity in atmosphere flows. *Contribution to Atmos. Phys.*, 1985, 58: 88 - 100
- 6 Wu W S, Lilly D K, Kerry R M. Helicity and thermal convection

- with shear. *J. Atmos. Sci.*, 1992, 49: 1800 - 1809
- 7 Davies-Jones R. Helicity trends in tornado outbreaks. Preprints, 17th Conf on Severe Local Storms, St Louis, MO, Amer. Meteor. Soc., 1993. 56 - 60
- 8 Brooks H E, Wilhelmson R B. The effect of low-level hodograph curvature on supercell structure. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 1990. 34 - 39
- 9 Brooks H E, Doswell III C A, Davies-Jones R P. Environmental helicity and the maintenance and evolution of low-level mesocyclones. The tornado: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards. *Geophys. Monogr.*, Amer. Geophys. Union, 1993, 79: 97 - 104
- 10 Droege-meier K K, Lazarus S M, Davies-Jones R P. The influence of helicity on numerically simulated convective storms. *Mon. Wea. Rev.*, 1993, 121: 2005 - 2029
- 11 Leftwich P W. On the use of helicity in operational assessment of severe local storm potential. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 1990. 269 - 274
- 12 Davies J M, Johns R H. Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. Part I: Wind shear and helicity. The tornado: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards. *Geophys. Monogr.*, Amer. Geophys. Union, 1993, 79: 573 - 582
- 13 Johns R H, Davies J M, Leftwich P W. Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. Part II: Variations in the combinations of wind and stability parameters. The tornado: Its structure, Dynamics, Prediction, and Hazards. *Geophys. Monogr.*, Amer. Geophys. Union, 1993, 79: 583 - 590
- 14 伍荣生, 谈哲敏. 广义涡度与位势涡度守恒定律及应用. *气象学报*, 1989, 47: 436 - 442
- 15 Tan Zhe-min, Wu Rongsheng. Helicity dynamics of atmospheric flow. *Adv. Atmos. Sci.*, 1994, 11: 175 - 188
- 16 巢纪平, 叶笃正. 正压大气的螺旋行星波. *大气科学*, 1977, 2: 81 - 88
- 17 刘式适, 刘式达. 大气运动的螺 - 极分解和 Beltrami 流. *大气科学*, 1997, 21: 151 - 160
- 18 陈华, 谈哲敏. 热带气旋的螺旋度特性. *热带气象学报*, 1999, 15(1): 81 - 85
- 19 刘式达, 辛国君, 刘式适, 等. 大气中尺度涡旋的三维螺旋结构理论. *气象学报*, 2000, 58(2): 151 - 158
- 20 Fei Shiqiang, Tan Zhe-min. On the helicity dynamics of severe convective storms. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, 18(1): 67 - 86
- 21 Xue M. ARPS Version 4.0 User's Guide. Center for Analysis and Prediction of Storms, Univ. of Oklahoma, 1995
- 22 杨越奎, 刘玉玲, 万振拴, 等. “91.7”梅雨锋暴雨的螺旋度分析. *气象学报*, 1994, 52(3): 379 - 384
- 23 吴宝俊, 许晨海, 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 - 112
- 24 吴宝俊, 许晨海, 刘延英, 等. 一次三峡大暴雨的地转螺旋度分析. *应用气象学报*, 1996, 7(2): 144 - 150
- 25 李耀辉, 寿绍文. 旋转风螺旋度及其在暴雨演变过程中的作用. *南京气象学院学报*, 1999, 22(1): 95 - 102
- 26 Woodall G R. Qualitative forecasting of tornadic activity using storm-relative environmental helicity. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Boston, MA, Amer. Meteor. Soc., 1990. 311 - 315
- 27 Davies-Jones R, Burgess D, Foster M. Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., 1990. 588 - 592
- 28 Maddox R A. An evaluation of tornado proximity wind and stability data. *Mon. Wea. Rev.*, 1976, 104: 133 - 142
- 29 Colquhoun J R. A method of estimating the velocity of a severe thunderstorm using the vertical wind profile in the storm's environment. Preprints, 8th Conf. on Weather Forecasting and Analysis, Denver, CO, Amer. Meteor. Soc., 1980. 316 - 323
- 30 Davis J M. On supercell motion in weaker wind environments. Preprints, 19th Conf. on Severe Local Storms, Minneapolis MN, Amer. Meteor. Soc., 1998. 685 - 688
- 31 Rasmussen E N, Blanchard D O. A baseline climatology of sounding-derived supercell and tornado forecast parameters. *Wea. Forecasting*, 1998, 13: 1148 - 1164
- 32 Van de Kamp D. Profiler Training Manual #1: Principles of Wind Profiler Operation, 1988. 49
- 33 章东华, 舒慈勋. 螺旋度概念及其在强对流风暴中的应用试验. *空军气象学院学报*, 1994, 15(1): 20 - 26
- 34 李英. 春季滇南冰雹大风天气的螺旋度分析. *南京气象学院学报*, 1999, 22(2): 164 - 169
- 35 李向红, 廖铭燕. 桂林“97.8.1”强对流大风的综合分析. *广西气象*, 1998, 19: 19 - 20
- 36 郑传新. 旋转风螺旋度在广西春季一次冰雹大风天气分析中的应用. *广西气象*, 2002, 23: 17 - 18
- 37 Tudurf E, Ramis C. The environments of significant convective events in the Mediterranean. *Wea. Forecasting*, 1997, 12: 294 - 306
- 38 Mead C M. The discrimination between tornadic and nontornadic supercell environments: a forecasting challenge in the southern United States. *Wea. Forecasting*, 1997, 12: 379 - 387

Progress in Researches on Application of Helicity to Convective Weather Prediction

Li Yaodong^{1,2} Liu Jianwen² Gao Shouting¹

(1 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;

2 Beijing Aviation Meteorological Institute, Beijing 100085)

Abstract: Helicity denotes the conjunct intensity of rotation and the movement along the rotation, and it is conservative in isentropic fluid. Helicity is the basic physical pattern for the maintenance of atmospheric activities. Boundary layer fluids, turbulences, severe storms and tropical cyclones are highly helical in their structures. Severe storms often occur in highly helical environments. The stability of fluid is closely associated with helicity. High helicity prevents transient energy from leaping to other energy classes, thus has great importance for the maintenance of supercell. Z-helicity is a good indicator of heavy rainfall. The relative helicity of a storm has great importance in the evolution of the storm. The occurrence of a mesocyclone is highly depended on the value of helicity. The relative helicity of a storm is also a good indicator of hail occurrence. It is difficult for the application of relative storm helicity in predicting storms for the uncertainty of storm velocity. There exists inherent relationship between atmospheric temperature and helicity, and the surface relative helicity can be used to measure the temperature advection caused by geostrophic flow.

Key words: helicity, storm relative helicity, surface relative helicity, convective storm prediction