

云迹风资料在热带气旋移向预报中的应用

冯业荣

(广州中心气象台 510080)

提 要

利用云迹风并结合实测风,从涡度方程出发,对1998年南海和西太平洋的几个热带气旋进行诊断计算。结果反映,涡度局地变率 $\partial\zeta/\partial t$ 对热带气旋移动有指示意义,它既可指示热带气旋的正常路径,在引导气流不明显的情况下,也能对热带气旋的转折路径有较明显的反映,热带气旋常朝涡度局地变率最大的方向移动。当热带气旋周围有数个 $\partial\zeta/\partial t$ 中心时,矢量合成法确定了气旋的最大可能移动方向。此外,正如引导气流一样,热带气旋周围的 $\partial\zeta/\partial t$ 场存在着有效作用半径,在此半径范围内 $\partial\zeta/\partial t$ 场对热带气旋运动有最直接的影响。

关键词: 云迹风 热带气旋 路径预报

引 言

一般认为大气动力作用对热带气旋运动的影响远较大气热力作用更为直接,从涡度动力学的角度来看^[1],热带气旋运动主要取决于大尺度环流对热带气旋的相对涡度平流,即热带气旋涡旋被尺度为数千公里的环境气流所引导。由于热带气旋常常是非轴对称的,且引导气流随高度、离气旋中心的距

离、气旋的强度和移速而变化,故热带气旋运动与引导气流有一定偏差。另外,Holland^[2,3]发现,在一个较小半径(有效作用半径)上求得的引导气流比较大半径上求得的引导气流更接近热带气旋运动的方向,说明除了大尺度引导气流外热带气旋附近较小范围内的次级引导气流也很重要。

预报员作热带气旋路径预报的一个主要依据是热带气旋周围的流场,由于海洋上空资料奇缺,环境引导流场只能根据探空风来估计,不仅误差大且无法进行定量的计算。云迹风根据云的轨迹来推导气流的方向和速度。由于热带气旋附近对流云系发展旺盛,且相对稳定,故热带气旋周围云迹风资料比较密集,能弥补海洋上探空资料的不足。

本文使用云迹风与实测风,从涡度方程出发,研究热带气旋运动与环境涡度局地变率之间的关系。在进行客观分析之前,以实测风为基准对云迹风进行流场一致性检查,尽可能保留每一个云迹风记录,特别是海上的记录,个别情况下云迹风与实测风可能有明显差异,主要出现在风向发生切变的地方,剔除与实测风有明显差异的云迹风。

1 云迹风原理

本文所用云迹风从日本 GMS-5 卫星云图推得。云迹风是利用交叉相关(cross correlation)技术,通过比较相邻两张云图的亮温追踪云团的踪迹。首先在当前时次云图上取

一较小像阵(16×16 个像素点)作为模板数据(template data),再在该时次前(或后)另一张云图上取稍大一些的像阵(如 64×64),小像阵在大像阵区域内滑动求相关系数矩阵,由于同一云团在前后两张图上所求的相关系数应为最大,故由最大相关系数的位置来确定云团的轨迹,进而求得云迹风。云迹风高度由云顶温度和附近探空站或数值预报模式的垂直温度廓线来确定。为使推导风可用,需进行一系列质量控制,主要有:①合理性检查:相关阵中主峰与次峰应能明显区别,如此求得的主峰位置才认为是目标云所在的位置。对于发展或消亡中的云团由于云顶高度变化太大,其云迹风将剔除;②时间连续性检查:计算时次前和后两张云图所计算的云迹风应具有时间连续性;③水平一致性检查:与周围风矢差别太大的风将被删除;④垂直风切变检查:用于区别高低风;⑤实况检查:与数值预报或实测风对比等。经过上述质量控制后的云迹风具有相当的可靠性。

图1为1998年10月14日08时(北京

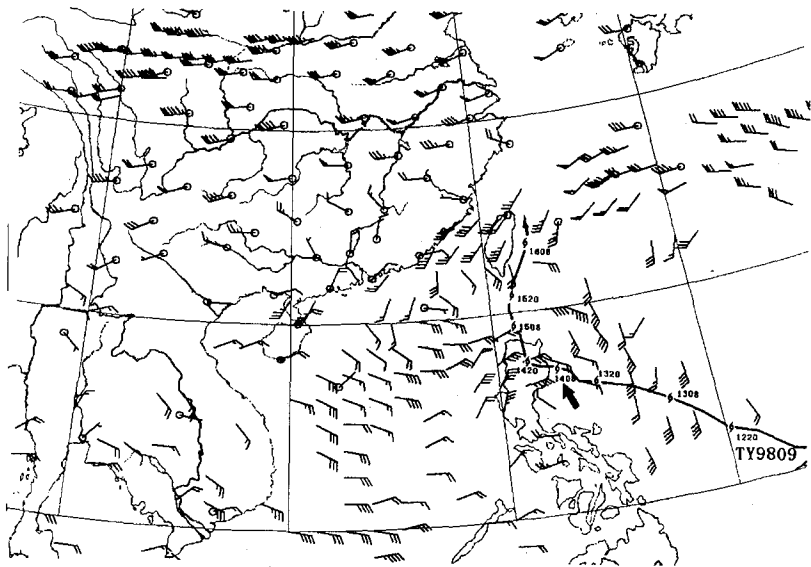


图1 1998年10月14日08时300hPa云迹风和探空风
(以圆圈为标记)以及9809号台风路径(箭头示意当前台风位置)

时,下同)300hPa 风场,9809 号台风周围云迹风资料密集,台风气旋性环流很清楚,环流中心与台风中心相当一致。云迹风的流场结构、天气系统形状与实测风相当吻合。

2 涡度方程与热带气旋运动

无摩擦正压涡度方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla_h \zeta - \beta v - (\zeta + f) \nabla_h \cdot \mathbf{V} \quad (1)$$

涡度局地变化 $\partial \zeta / \partial t$ 主要取决于:相对涡度平流 $-\mathbf{V} \cdot \nabla_h \zeta$ 、行星涡度平流 $-\beta v$ 、散度项 $-(\zeta + f) \nabla_h \cdot \mathbf{V}$ 。由于热带气旋中心基本上位于正涡度中心附近,热带气旋移动表现为正涡度中心的移动,因此热带气旋路径的前方 $\partial \zeta / \partial t > 0$,后方 $\partial \zeta / \partial t < 0$,由风场资料求式(1)右边三项之和,通过 $\partial \zeta / \partial t$ 可诊断热带气旋移动方向。

从运动学的观点,涡度局地变率等于涡旋强度的变化和涡旋以速度 V_c 运动所引起的涡度变化,即

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\delta \zeta}{\delta t} - \mathbf{V}_c \cdot \nabla_h \zeta \quad (2)$$

若涡旋强度不变 $\frac{\delta \zeta}{\delta t} = 0$,其移速 $V_c = -\frac{\partial \zeta}{\partial t} /$

$\frac{\partial \zeta}{\partial n}$, n 为沿涡度梯度方向的水平距离。实际上

热带气旋的强度随时在变化,故 $\frac{\delta \zeta}{\delta t} = 0$ 不严格成立。若热带气旋中心与涡度中心重合,将

$\frac{\partial \zeta}{\partial x}$, $\frac{\partial \zeta}{\partial y}$ 分别取代 ζ 代入式(2),考虑到热带

气旋中心 $\frac{\delta}{\delta t}(\frac{\partial \zeta}{\partial x}) = 0$, $\frac{\delta}{\delta t}(\frac{\partial \zeta}{\partial y}) = 0$, $\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x \partial y}$

$= 0$,则热带气旋沿纬向和经向的移速分别

为 $V_{cx} = \frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial \zeta}{\partial t}) / \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2}$ 和 $V_{cy} = -\frac{\partial}{\partial y}(\frac{\partial \zeta}{\partial t}) /$

$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2}$,在轴对称的情形下令 $I = \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2}$,

则热带气旋移速 $V_c = -\frac{1}{I} \nabla(\frac{\partial \zeta}{\partial t})$ 。因此,热带气旋移向与涡度变率及其梯度有关。

对热带气旋周围的风场进行分解 $\mathbf{V} =$

$\mathbf{V}_B + \mathbf{V}_x$,其中 $\mathbf{V}_B$ 为环境引导气流和热带气旋流场非对称部分之和, $\mathbf{V}_x$ 为对称涡旋环流,在轴对称情形下, $-\mathbf{V}_x \cdot \nabla \zeta$ 对热带气旋只产生变形(非对称)效应,并不产生移动效应,只有 $-\mathbf{V}_B \cdot \nabla \zeta$ 即环境引导气流和热带气旋非对称流场引导热带气旋移动。

$-\beta v$ 项在轴对称时使热带气旋产生向西的运动,称为 β 漂移(β -drift)。王斌等认为在引导气流很弱或不确定的情况下, β 漂移对热带气旋运动产生很重要的作用。Fiorino & Elsberry^[4]指出, β 漂移作用将破坏热带气旋环流的轴对称结构,形成一个涡旋对(β -gyres),即热带气旋西侧为气旋,东侧为反气旋,涡旋对之间产生通风流(ventilation current),成为引导热带气旋移动的次级引导气流。

$-(\zeta + f) \nabla_h \cdot \mathbf{V}$ 表示旋转风与辐散风的相互作用对 $\partial \zeta / \partial t$ 的贡献,对于气旋性流入(通常在中低层) $(\zeta + f) > 0$, $\nabla_h \cdot \mathbf{V} < 0$ 和反气旋性流出(在热带气旋顶部) $(\zeta + f) <$

0 , $\nabla_h \cdot \mathbf{V} > 0$ 均使 $\frac{\partial \zeta}{\partial t} > 0$;对于气旋性流出(ζ

$+ f) > 0$, $\nabla_h \cdot \mathbf{V} > 0$ 和反气旋性流入($\zeta + f)$

< 0 , $\nabla_h \cdot \mathbf{V} < 0$ 则 $\frac{\partial \zeta}{\partial t} < 0$ 。若热带气旋为轴对

称该项影响热带气旋的强度,对于非对称热带气旋将影响热带气旋的移动。

3 实例

3.1 9809 号台风折向偏北

9809 号台风是个超级台风,最强时中心最大风力 $65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,6 级大风半径 730km,有明显的台风眼(10 月 14 日),由于强度强,云系发展很高,直至 300hPa 台风中心附近的气旋性环流仍很明显(图 1)。图 2 是散度场和涡度场,台风中心位于 300hPa 辐散中心和涡度中心附近。台风开始时一直西北西移动,14 日 08 时在吕宋岛东部近海,登陆后突然北折。从图 3a 看,14 日 08 时台风北侧

和西侧正涡度局地变率等值线密集并有数个峰值,特别是北侧和东北侧各有一个正值中心,从 $\partial\zeta/\partial t$ 水平梯度矢量合成结果看,定性上可判断台风将偏离原西北西路路径折向偏北。

相对涡度平流(图 3b)的水平结构与涡度局地变率很相似,说明引导气流对台风的移动起主要作用。台风中心附近的西北、东北和西南各有一相对涡度平流正值中心,合成结果对台风有向偏北的引导。

行星涡度平流(图 3c)使台风西侧气旋性涡度增加,东侧反气旋性涡度增加,使热带气旋产生向西的 β 漂移。从散度项(图 3d)看,台风处于负值中心附近,意味着台风强度将减弱,事实上登陆后台风中心最大风力从 $65\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 减弱为 $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,台风眼消失。以后各时次台风北侧涡度局地变率等值线密集,引导台风继续向北移动,在两环副高之间穿过,进入西风带。

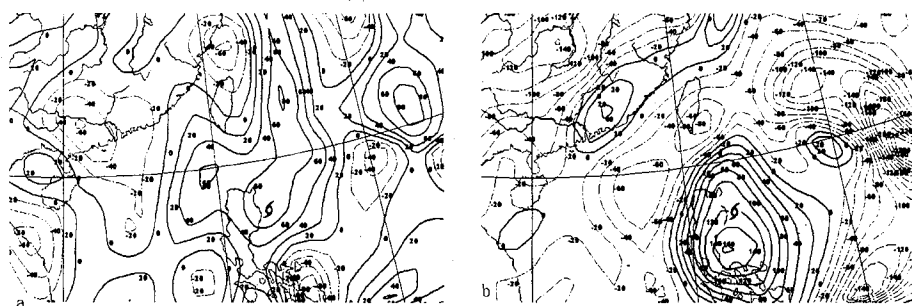


图 2 1998 年 10 月 14 日 08 时 300hPa 散度场(a)和涡度场(b)

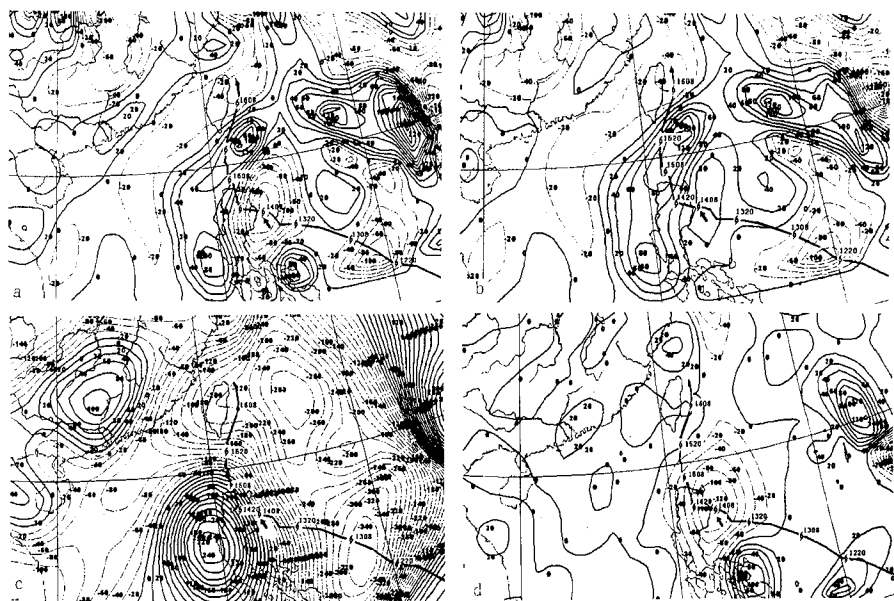


图 3 1998 年 10 月 14 日 08 时 300hPa 涡度方程各项

a. $\frac{\partial\zeta}{\partial t}/\text{s}^{-2}$ b. $-\mathbf{V} \cdot \nabla h_t/10^{-10}\text{s}^{-2}$ c. $-\beta v/10^{-12}\text{s}^{-2}$ d. $-(\zeta+f)\nabla_h \cdot \mathbf{V}/10^{-10}\text{s}^{-2}$

3.2 9806号台风与9807号强热带风暴互旋

9806号台风开始时向东北方向移动,17日08时转偏北,17日20时转西北,18日14时后折向西,并一直西移,20日早晨在浙江登陆。9807号热带风暴18日在吕宋岛以西,南海东部海面形成,主要向东北方向移动。这两个热带气旋发生互旋。由于两个热带气旋距离较远,9807号热带风暴较弱,故9807号热带风暴环流对9806号台风西折的直接引导作用很小。从500hPa图(图4a)看,副热带

高压断裂成两环,按当时的形势场和过去路径惯性外推,9806号台风应在两环高压间继续向偏北方向移动,穿过高压坝进入西风带,但台风北部的高压坝非但没有减弱反而加强,并随台风西移同步西伸,台风正对中国大陆副高中心移去,最后两环副高打通。图4b为9月18日08时 $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ 场,9806号台风以西、9807号热带风暴以南各出现 $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ 正值中心,对9807号热带风暴南落和9806号台风西移有明显引导作用。

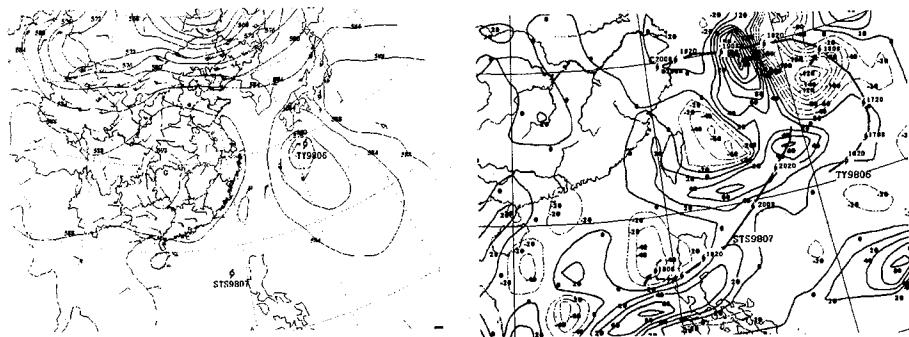


图4 1998年9月18日08时500hPa形势(a)和涡度局地变率(b)

4 结语

(1) 涡度局地变率对热带气旋的移动有指示意义,特别在引导气流弱或热带气旋路径转折时。热带气旋常朝涡度局地变率最大的方向移动。相对涡度平流主要代表环境流场对热带气旋的引导;在引导气流很弱或不定时,行星涡度平流起较重要的作用,它使热带气旋东侧气旋性涡度减小而西侧增大,涡度场产生 β 涡对,引导气旋西移;散度项不仅影响涡旋的强度,在非轴对称时,也影响热带气旋移动。

(2) 当气旋周围存在数个 $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ 中心时,矢量合成法确定热带气旋的最大可能移动方向,此种情况下,往往预示热带气旋路径有突变的可能。

(3) $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ 场既可能由于热带气旋引起,也可能由于其他天气系统引起,故只有热带气旋中心一定范围内的 $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ 场对热带气旋运动有最直接的影响,用 $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ 判别热带气旋运动时,正如引导气流一样,存在一个有效作用半径。

(4) 由于云迹风非实测风,其误差和资料分布不均匀会影响计算的精度;另外,依赖于云系的发展高度,云迹风在各高度上的分布是不均匀的,故计算是在云迹风资料最多的层次进行的。尽管有其局限性,但总体而言,云迹风为热带气旋的业务预报提供了重要的参考依据,对于判别热带气旋路径及其转折有着特殊的意义。

鸣谢:陈子通先生提供云迹风的原始资料,在此表示感谢。

参考文献

- 1 王斌, Russell L Elsberry, 王玉清, 吴立广. 热带气旋运动的动力学研究进展. 大气科学, 1998, 22(4): 535~547.
- 2 Holland. Tropical Cyclone Motion; Environment Interaction Plus a Beta Effect. J. Atmos. Sci. 1983, 40(2): 328~342.
- 3 Holland. Tropical Cyclone Motion; On a Comparison of Theory and Observation. J. Atmos. Sci., 1984, 41(1): 68~75.
- 4 Fiorino & Elsberry. Some Aspects of Vortex Structure Related to Tropical Cyclone Motion. J. Atmos. Sci., 1989, 46(7): 975~990.

The Application of Cloud Track Wind Data to the Tropical Cyclone Movement Prediction

Feng Yerong

(Guangzhou Central Meteorological Office, Guangzhou 510080)

Abstract

Based on the cloud track winds and the upper sounding winds, the first three terms of right hand side of the fractionless barotropic vorticity equation, e. g. the relative vorticity advection, the planetary vorticity advection and the divergent term were calculated. The sum of these three terms gave an estimate of the local vorticity variation rate. Computations were carried out to some tropical cyclone cases for the year 1998 over the region of the South China Sea and the Western Pacific. Results show that the local vorticity variation rate $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ has special significance in indicating tropical cyclone movement, and it can indicate obviously both a steady track of tropical cyclone motion and a sudden turning on tropical cyclone movement. Tropical cyclones move generally toward the direction of maximum local vorticity variation rate. If $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ has several maxima in the vicinity of tropical cyclone center, vector composition method may give a mostly probable direction of tropical cyclone motion. In addition, just as the steering current, there is an effective radius of interaction in $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ field, within the effective radius the changes in $\frac{\partial \zeta}{\partial t}$ field may have a direct influence to tropical cyclone motion.

Key Words: cloud track wind tropical cyclone track prediction