

文章编号：1004-4965 (2001) 02-0172-07

9806 号台风非对称结构形成及其高纬西折路径分析

邓华军, 韩桂荣, 樊永富

(江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘 要

对 9806 号台风在弱环境场中向北移动, 至强环境场中折向西行的物理机制进行了分析, 得出在弱环境场中台风可形成不对称结构, 其物理量如高度的变化在台风进入强环境场后会与环境场叠加, 从而改变台风移向。强弱环境场的更替, 可能是 9806 号台风移向突变的重要原因。

关 键 词：台风; 环境流场; 移向突变

中图分类号：P458.124

文献标识码：A

1 引 言

长期以来, 台风被视为环境场气流引导的刚性涡旋, 台风未来移向的预测多归结为环境场气流的预测, 但有时台风实际移动路径会显著偏离环境引导气流。这说明除了环境场外, 还有一些其它因子对台风移动有着实质性的影响。许多研究表明, 这些因子对台风移动的作用, 大多是通过改变台风环流非对称结构这一重要环节来实现的。近年来对台风非对称结构的机理研究, 比较着重于正压模式中 β 效应的作用^[1, 2]。

在弱环境场中, 台风受环境场影响小, 其非对称结构由本身因子, 主要是 β 效应与涡度平流引起, 其运动亦受本身因子制约。但是当台风由弱环境场向强环境场移动时, 其在弱环境场中形成的动力、热力不对称与强环境场相互叠加, 对台风路径产生了一定的影响。

本文对在弱环境场中向北运动, 至强环境场中折向西行的 9806 号台风进行了分析, 并讨论了在强弱环境场转换过程中, 台风结构的变化对移动路径造成的影响。

2 概况与天气背景

9806 号台风于 9 月 16 日在 20.9 °N、131.8 °E 生成, 中心强度为 998 hPa, 其

后, 沿 134°E 向偏北方向移动, 9 月 18 日 08 时起折向西行, 于 9 月 19 日 22 时在浙江普陀登陆, 转向点位于 28.9°N 、 132.7°E 。该台风在如此高的纬度向西转向, 且运动轨迹呈明显的倒抛物线型, 是近几年来较为少见的台风路径。

9806 号台风转向前的 500 hPa 图上 (图 1), 我国受大陆高压控制, 副高位于日本以东洋面上, 130°E 脊线位于 34°N 附近, 台风中心与副高脊线的位置相距 5 个纬度以上, 其外围大风区与副高南侧没有相交, 台风受副高南侧引导气流的影响较小, 加之台风与大陆高压相距较远, 因而可以认为台风是在弱环境场中移动。在弱环境场中, 台风的径向结构是对称的 (图 2)。18 日 08 时副高增强西伸, 130°E 脊线位于 32°N , 台风中心与副高脊线相距仅为 3~4 个纬度, 其北侧大风圈已与副高南侧相接, 可以认为此时 9806 号台风已开始进入强环境场。

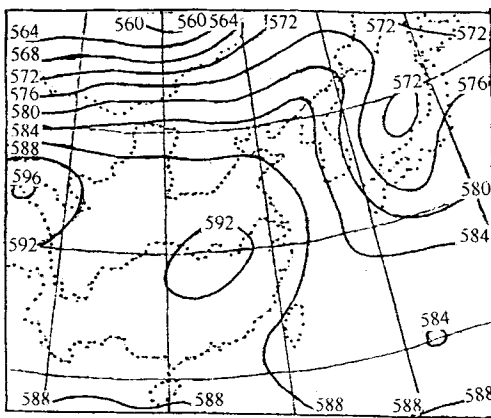


图 1 17 日 08 时 500 hPa 高度场

Fig.1 The height field on 500 hPa at 08 Z Sept.17, 1998.

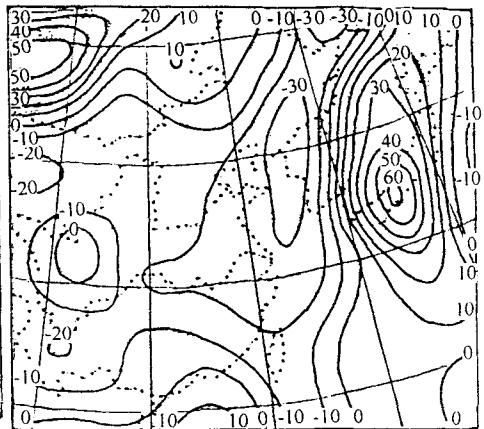


图 2 17 日 08 时 500 hPa 涡度分布 (单位: 10^{-6}s^{-1})

Fig.2 The distribution of vortex on 500 hPa at 08 Z Sept.17, 1998 (10^{-6}s^{-1}).

3 弱环境场中台风非对称结构的形成

台风周围不同尺度的环流系统对台风的结构和运动具有重要影响。这些环流系统尺度越大, 强度越大, 其作用越显著。当台风从低纬向高纬移动过程中, 往往经历了从弱环境场到强环境场的过程。在弱环境场中, 台风周围系统尺度小、强度小, 台风依靠其本身的内在因子与环境场的作用平衡而运动, 这些因子制约了台风的运动, 亦对台风的结构演变起重要作用。

当台风涡旋移动时, 其运动方向主要由大型流场的气压梯度力 $\bar{G}$, 台风整体所受的地转偏向力 $\bar{F}$ 和内力 $\bar{N}$ 决定。如果台风在弱环境场中移动, 则大型流场的作用较小, 内力 $\bar{N}$ 与地转偏向力 $\bar{F}$ 可以达到平衡, 其中 $\bar{N}$ 为台风本身的流场结构在地球自转作用下的一种内力, 其方向总是指向西北象限。 $\bar{F}$ 为水平地转偏向力, 可以写为

$$\bar{F} = -2W \sin y \cdot \bar{k} \times \bar{c} \quad (1)$$

其中 ψ 为纬度, Ω 为地转角速度, $\bar{c}$ 为台风移动方向。 F 的大小为 $2\Omega \sin \psi$, 作用力方向为 $\bar{c}$ 右侧。

9806 号台风在弱环境场中一直向偏北方向移动, 其 F 的作用方向为偏东方向, 随着台风北上, F 的大小也随着改变, 其改变值为

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 2W \cos y \frac{\partial y}{\partial y} \quad (2)$$

式 (2) 表明 F 的大小与纬度 ψ 的变化有关, 台风北上时 $\frac{\partial y}{\partial y}$ 为正, 地转偏向力增加。

9806 台风为保持其北上均速运动, 则必须调整内力 N 、气压梯度力 G , 而内力 N 、气压梯度力 G 主要与台风的流场结构有关, 假设台风内力 N 不变, 则主要是通过调整台风近距离内的气压梯度 G , 来实现作用力的平衡。

台风流场结构改变, 尤其是台风周围气压梯度的变化可由涡度方程讨论。

P 坐标涡度方程中, 不考虑摩擦作用, 经量纲分析, 其零级简化为

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\bar{V} \cdot \nabla x - f \nabla \cdot \bar{V} - vb \quad (3)$$

式 (3) 中, x 为相对涡度, $\bar{V}$ 为风矢量, f 为科氏参数, v 为经向风速。

考虑台风为天气尺度系统, 可引入准地转概念, 即设 $\xi \approx \xi_g$, 而 $\nabla \cdot \bar{V}$ 中 $\bar{V}$ 仍由实际风向决定, 则

$$x \approx x_g = \frac{\partial v_g}{\partial x} - \frac{\partial u_g}{\partial y} = \frac{9.8}{f} \nabla_p^2 H$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{9.8}{f} \nabla_p^2 \frac{\partial H}{\partial t}$$

式中 H 为重力位势高度, 式 (3) 可写为

$$\frac{9.8}{f} \nabla_p^2 \frac{\partial H}{\partial t} = -\bar{V} \cdot \nabla x - f \nabla \cdot \bar{V} - vb \quad (4)$$

由实际经验^[3]知道, $\nabla_p^2 \frac{\partial H}{\partial t}$ 和 $\frac{\partial H}{\partial t}$ 有密切关系, 两者为负相关关系, 可令

$$\frac{9.8}{f} \nabla_p^2 \frac{\partial H}{\partial t} = -m \frac{\partial H}{\partial t}, \quad m > 0$$

式 (4) 可写为

$$m \frac{\partial H}{\partial t} = \bar{V} \cdot \nabla x + f \nabla \cdot \bar{V} + vb \quad (5)$$

式 (5) 表明, 位势高度的局地变化, 主要与涡度平流变化和水平辐合辐散以及 b 项有关, 当 $-\bar{V} \cdot \nabla x$ 增加, 位势高度减小; $\nabla \cdot \bar{V}$ 和 vb 增加, 位势高度增加。

我们用 MM4 模式分别计算了 18 日 08 时 9806 号台风转向前式 (5) 右侧 3 项的大小, 计算网格分辨率为 60 km, 所用资料为经客观分析的常规探空资料, 其中

$$vb = v \frac{\partial f}{\partial y} = v \cdot \frac{\partial(2W \sin y)}{a \partial y} = v \cdot \frac{2W \cos y}{a}$$

a 为地球半径, y 为纬度值。

图 3~5 分别为 18 日 08 时 500 hPa $-\bar{v}\nabla x$ 的分布、 $-\nabla\cdot\bar{v}$ 的分布及 $v\beta$ 的分布。

由图 3、4 可见 9806 台风在转向前, 即在弱环境中, 其东侧维持负的涡度平流和散度, 西侧则相反。另外台风东侧涡度平流值为 $2\times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ 左右, 而 $f\nabla\cdot\bar{v}$ 则为 $2W\sin y\cdot\nabla\cdot\bar{V}$, 约为 $2\times 7.29\times 10^{-5}\times 0.5\times 10^{-6}\approx 7\times 10^{-11} \text{ s}^{-2}$, 西侧也如此。因而涡度平流值略大于 $f\nabla\cdot\bar{V}$ 。

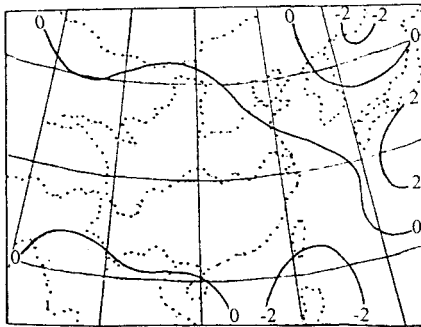


图 3 18 日 08 时 500 hPa 涡度平流分布(单位: 10^{-10} s^{-2})

Fig.3 The distribution of vorticity advection on 500 hPa at 08Z Sept.18, 1998 (10^{-10} s^{-2})

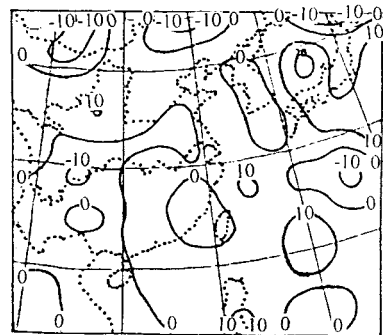


图 4 18 日 08 时 500 hPa 散度分布(单位: 10^{-7} s^{-1})

Fig.4 The distribution of divergence on 500 hPa at 08Z Sept.18, 1998 (10^{-7} s^{-1})

台风东侧 $v\cdot\nabla x$ 为正值, 不考虑 $f\nabla\cdot\bar{v}$ (其值小于涡度平流值), 由式 (5) 可知涡度平流值将在台风东侧造成 $\frac{\partial H}{\partial t}$ 的负值, 即位势减小, 而 $v\cdot\nabla x$ 最大值在东北象限, 因而 9806 号台风东北侧位势减小较大, 西北侧相反。

现重点讨论 $v\beta$ 。由于 v 在台风东侧为正, 西侧为负, 因而台风东侧 $v\beta > 0$, 西侧 $v\beta < 0$ 。另外 9806 台风东侧 $|v|$ 大于西侧的 $|v|$, 因而其东侧的 $v\beta$ 大于西侧的 $v\beta$ 。从图 4 的 $v\beta$ 分布可知, 其东北侧维持较大的值, 其最大值约为 $5\times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ 。由式 (5) 可知 $v\beta$ 将在 9806 号台风东侧造成 $\frac{\partial H}{\partial t}$ 的增大, 西侧为减量, 其 $\frac{\partial H}{\partial t}$ 的增量最大值在台风的东北象限。

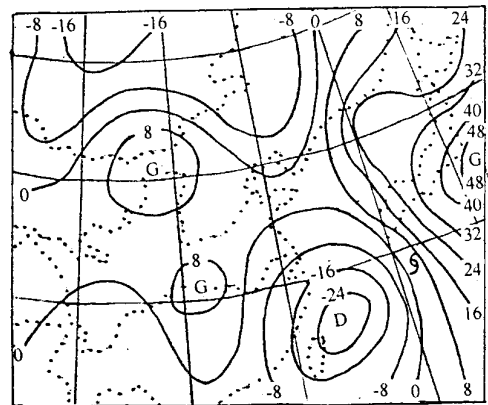


图 5 18 日 08 时 500 hPa $v\beta$ 分布(单位: 10^{-10} s^{-2})

Fig.5 The distribution of $v\beta$ at 08 Z Sept.18, 1998 (10^{-10} s^{-2}).

涡度平流 $-v \cdot \nabla \chi$ 的作用使 9806 号台风东侧的高度减小, 使台风东侧的气压梯度变小, 风场随之稀疏, 而 vb 即 β 项使台风东侧的高度增加, 梯度增大而使风场密集。因而涡度平流的作用使台风结构均匀化, β 项的作用则使台风形成东密西疏的非对称结构。

由于 β 项造成的位势高度增量大于涡度平流造成的高度减小, 因而 9806 号台风在北上过程中, 其东部高度不断增加, 从而形成东密西疏的涡度结构, 又因为 vb 最大值在东北象限, 所以其东北象限的高度增量最大, 风场最密集。

4 强环境场中 9806 号台风的移动

弱环境场中非线性平流和 β 效应对台风的移动作用很大, 这两类因子亦影响台风的结构, 其中 β 效应是形成台风非对称结构的主要因子。当台风进入强环境场后, 环境场对台风的作用不断增大, 此时由 β 项造成的台风自身物理量的分布不对称与环境场引起的物理量场相叠加, 决定了台风的移动。

18 日 20 时 500 hPa 图上 (图 6) 9806 号台风东北部为逐渐增强西伸的副热带

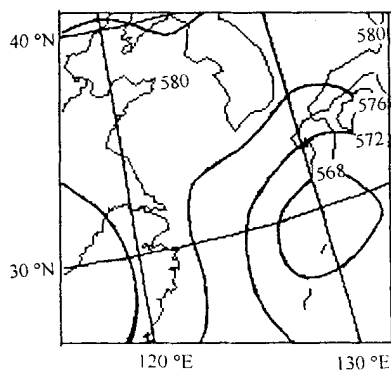


图 6 18 日 20 时 500 hPa 高度场

Fig.6 The height field on 500 hPa at 20 Z.
Sept.18. 1998.

高压, 其北部维持偏东气流, 并可分析出较强的正变高。由上一节的分析可知, 由于 vb 的作用, 9806 号台风的东北侧将出现正变高, 此正变高与副高西伸造成的正变高叠加, 更使得台风中心东北部的气压梯度加大, 而东北部气压梯度的增大, 势必使自东北指向西南向的气压梯度力增加, 促使台风西折。

图 7 为 500 hPa 流线图, 在 9806 号台风的东北象限为稠密型流场等值线, 而西南象限为疏散型等值线。证实了该台风流场的非对称分布。按近年来的研究, 这种非对称分布型的台风往往呈现偏西运动特征, 正是在上述机理下才导致了 9806 号台风的西行。

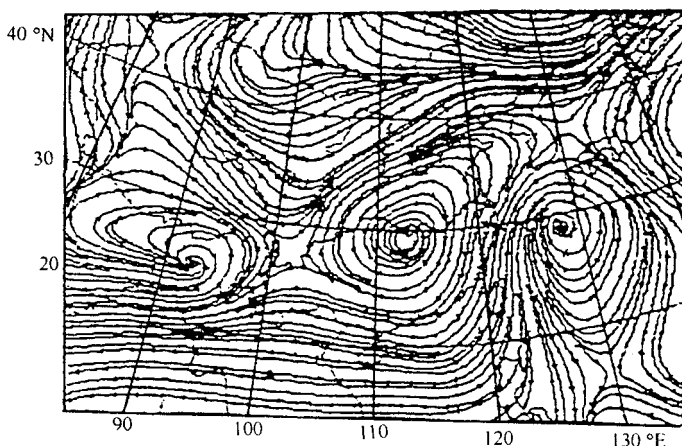


图 7 18 日 20 时 500 hPa 流场分布

Fig.7 The flow field on 500 hPa at 20 Z Sept.18, 1998.

5 小 结

(1) 在弱环境场中, 台风自身因子对台风移动的作用不可忽视, 这些因子同时也改变了台风的物理结构。

(2) 涡度平流项与 β 项对台风的非对称结构具有较大的作用, 涡度平流项造成台风东北部的高度减小, β 项造成台风东北部的高度增加。因此, 涡度平流项将使台风的非对称结构均匀化, 而 β 项则造成台风的非对称结构。

(3) 9806 号台风的 β 项所造成的台风东北部高度的增量大于涡度平流项所造成的高度减量, 因而使其在北上过程中形成东密西疏的流场结构。

(4) 弱环境场中台风形成的不对称结构, 其物理量如高度场的变化在台风进入强环境场后会与环境场相叠加, 从而使台风发生移向变化。

(5) 强、弱环境场的转换, 可以作为判断台风移向变化的依据之一, 在实际预报中有一定的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 陈联寿, 罗哲贤. 影响热带气旋结构和运动的两类因子的研究[J]. 气象学报, 1996, 54: 409-416.
- [2] 陈联寿. 非对称结构对热带气旋运动的作用[A]. 第十届全国热带气旋科学讨论会论文集[C], 1996. 1-3.
- [3] 杨大升, 刘余滨, 刘式适. 动力气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1983. 196-198.

THE ANALYSIS OF ASYMMETRICAL STRUCTURE FORMING AND THE WESTWARD-DEFLECTING OF TYPHOON 9806 TRACKS IN HIGH LATITUDE

DENG Hua-jun, HAN Gui-rong, FAN Yong-fu

(The Jiangsu Province Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China)

Abstract

The paper analyzed the physical mechanism that caused Typhoon 9806 to move toward north under the weak environmental condition field and to turn to the west under the strong environmental condition. It is concluded that the typhoon formed an asymmetrical structure under the weak environmental condition field and its physical elements such as the variation of height will add to the environmental condition field and change Typhoon 9806's tracks when it move into the strong environmental condition field. So probably the alteration of the weak-to-strong environmental condition field is the important reason for causing the track's mutation of typhoon 9806.

Key words: typhoon; environmental flow field; moving direction break