

台风形成过程中三维结构变化的初步分析

黄新晴^{1,2}, 罗哲贤¹, 滕代高^{1,2}

(¹ 南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044 ² 浙江省气象台, 浙江 杭州 310017)

摘要: 采用 NCEP/NCAR 全球对流层 1°×1°格点分析资料, 选取 2000 年 0008 号台风 Jelawat 和 0010 号台风 Bilis 两个登陆台风个例, 计算了这两个台风形成过程中切向平均风廓线、垂直速度场和位涡场, 讨论了这两个台风形成过程中三维结构的变化特征。结果表明, 在台风的形成过程中, 最大风速增加, 最大风速半径减小, 垂直运动的范围从对流层中部向上向下扩张, 垂直运动的强度增大; 正的位涡在台风中心上空聚集; 各物理量在对流层 850 hPa 500 hPa 的变化最为明显, 在 300 hPa 相对较弱。

关键词: 台风形成; 三维结构; 风廓线; 垂直速度; 位涡

中图分类号: P447 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2007) 05-0648-09

Preliminary Analysis on Three-Dimensional Structure of Typhoon during Formation

HUANG Xin-qing^{1,2}, LUO Zhe-xian¹, TENG Dai-gao^{1,2}

(1. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China
2. Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310017, China)

Abstract The three-dimensional structure of two landfalling typhoon Jelawat and Bilis(2000), during their formations is discussed based on the NCEP/NCAR global tropospheric 1°×1° analysis, using tangential average wind profile, vertical velocity and potential vorticity. The results show that during the typhoons' formation, the radius of maximum wind decreased with increase in maximum wind velocity, and the vertical motion initially developed in the mid-troposphere gradually enhanced and expanded to the upper and lower levels simultaneously. On the other hand, the positive potential vorticity gathered gradually over the typhoon center, and the physical variables changed more obvious at 850 hPa and 500 hPa than 300 hPa.

Key words typhoon formation; three-dimensional structure; wind profile; vertical velocity; potential vorticity

0 引言

在过去的 50 年里, 热带气旋的路径预报已经取得了显著的进步, 但有关热带气旋强度和预报技术的发展明显滞后, 使得气旋形成的预报仍然有很多困难^[1], 到目前为止还不能准确地预报一个热带扰动能发展为热带气旋的过程^[2]。准确的预报台风的形成过程, 对做好预防措施, 减轻热带气旋的灾害损失, 是必不可少的。

当热带海洋气压场上有一个闭合低压环流时,

称为热带气旋。根据该低压环流中心附近最大风速 V_{max} , 热带气旋可分为: 热带低压 ($10.8 \sim 17.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 热带风暴 ($17.2 \sim 24.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 强热带风暴 ($24.5 \sim 32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 和台风 ($> 32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)^[3]。陈联寿等^[4]指出: 台风的形成包括台风的发生和发展。台风的发生是指一个弱的未闭合的扰动, 如何发展成一个闭合的较深厚的热带低压; 而台风的发展是指这个热带低压如何增强达到台风的标准。对台风的形成机理, 最初用第二类条件不稳定 (CISK) 来解释^[5-6]。Emmanuel^[7]、Rotunno 等^[8]的研究却表

收稿日期: 2006-09-01; 改回日期: 2006-11-20
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40333028); 国家科技部项目 (2005DIB3J104)
作者简介: 黄新晴 (1983-), 女, 甘肃环县人, 硕士, 研究方向: 天气动力学, xinqing973@163.com.

明, 中性层结的大气中也可能有热带气旋发生、发展并维持, 并用海—气相互作用理论来解释热带气旋的生成。CSK 机制和海—气相互作用理论要求的初始涡旋比实际观测到的热带气旋发生阶段的涡旋都要强的多^[9]。Simpson 等^[10-11]认为中尺度对流涡旋之间的相互作用及合并对热带气旋早期的发展有重要贡献。徐亚梅等^[12]的数值研究结果表明, 在热带气旋的早期发展中, 非对称流具有重要的作用。近年来的理论研究表明中层的位涡异常及低层的涡度异常对中尺度涡度异常有重要作用^[13-14]。从气候统计特征来看, 已有人提出全球变暖背景下热带气旋的发生有减弱的趋势^[15]。热带气旋早期发展物理机制的问题还未完全解决, 这与相应的诊断分析较为欠缺有一定的联系。

热带气旋结构和结构变化的研究受到长期的关注。陈联寿等^[4]指出: 冷空气入侵低纬度地区与热带气旋相遇, 会造成眼壁、强对流及暖心结构的破坏, 眼壁附近的最大风速环流突然消失。罗哲贤^[16]认为, 线性平流、 β 效应和非线性平流 3 者的共同作用会产生台风的非对称结构以及台风边缘区域涡度场的破碎分布。Chen 等^[17]进一步指出, 文献 [16] 中的结构变化使台风路径摆动或打转。Meng 等^[18]的研究表明, 台风移近台湾岛时, 地形作用会在岛屿两侧产生诱生低压, 有时诱生低压会代替原来的台风。在此过程中, 台风的结构会明显改变。徐祥德等^[19]和罗哲贤^[20]的结果都表明, 热源已成为影响热带气旋结构的一个主要因子。在数值模式中加入倾斜非对称初始热带气旋, 得到的模拟结果更接近实际状况^[21]。近来, 余晖等^[22]对热带气旋的结构变化做了全面的综述。

上述研究一般分析的是台风形成后的结构变化, 关于台风形成期间结构变化的问题尚少有结果给出, 涡旋三维结构变化的观测研究目前较少, 钟敏等^[23]对 9914 号台风降水云系的三维结构进行了初步分析, 得到一些有意义的结果。本文选取两个登陆台风个例, 利用 NCEP/NCAR 全球对流层 $1^\circ \times 1^\circ$ 格点分析资料, 计算两个台风形成期间切向平均风廓线、垂直速度场、位涡场, 讨论三维结构的变化特征, 以增加对热带气旋形成问题的理解。

1 两个台风的概况

选取 2000 年的 2 个台风, 0010 号 Bilis 和 0008 号 Jelawat 它们在生成后均向西北方向移动, 强度迅速增强, 在编号 48 h 之内发展成台风 (图 1)。

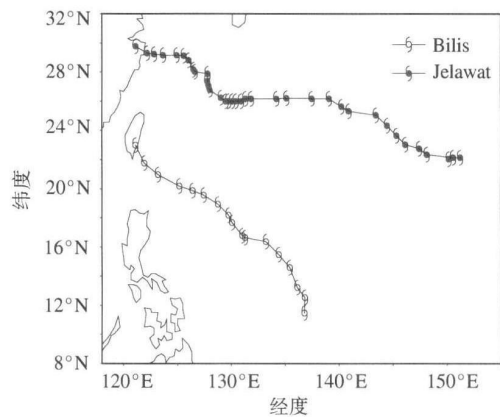


图 1 台风 Bilis 和 Jelawat 路径

Fig 1 Tracks of tropical cyclone Bilis and Jelawat

2000 年 0010 号台风 Bilis 于 8 月 18 日 12 时 (世界时, 下同) 在西北太平洋上 (137.0°E , 11.5°N) 生成, 生成后沿西北方向移动, 并于 19 日 06 时达到热带风暴强度, 在 20 日 06 时达到台风强度, 之后继续沿西北路径移动, 最后在台湾登陆。

2000 年 0008 号台风 Jelawat 于 8 月 1 日 06 时形成于关岛以北洋面 (152.0°E , 22.1°N), 生成后向西北偏西方向移动, 强度迅速增强, 于 1 日 12 时达到热带风暴标准, 2 日 00 时发展成台风, 继续沿偏西方向移动, 登陆后迅速减弱, 消失。

台风编号前, 可以向前追踪它的前身, 是一个闭合的或未闭合的低压环流。为叙述方便, 本文把热带气旋年鉴编号以前的低压环流称为热带扰动。

2 不同高度风廓线的变化

在平面涡动力学中, 热带气旋的风廓线可用来描述涡旋二维结构。这里, 风廓线是指涡旋切向平均风 V_T 的径向分布。本节讨论不同高度风廓线的变化特征, 由此可以大致了解风场的三维结构。风廓线的主要特征取决于两方面的因素: 1) 切向平均风速的最大值; 2) 切向平均风速最大值所在位置与涡中心之间的距离 R_M (R_M 称为最大风速半径)。

采用文献 [24] 的思路, 文献 [25] 的插值方法, 把 $1^\circ \times 1^\circ$ 的格点资料内插为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 并定义热带气旋的中心风速为 $0\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 求出两个登陆台风 Bilis 和 Jelawat 的 $V_{\max}$ 和 R_M 。在进行本研究之前, 对资料的可信度进行过验证, 台风的路径、强度变化与实况基本吻合。主要结果如下: 1) 与形成初期相比, 编号时 $V_{\max}$ 增大, R_M 缩小; 2) 在 850 hPa 和 500 hPa $V_{\max}$ 增大, R_M 减小的现象更明显。

图 2 描述了形成初期和编号时两个时刻最大风速 (V_{max}) 径向分布的对比。由图可见, 两个台风在形成初期和编号时不同层次上 V_{max} 径向分布的变化均十分相似, 即: (1) 形成初期最大风速和最大风速半径不明显; (2) 编号时从低层到高层都有明显的最大风速值和相应的最大风速半径形成; (3) 低层 850 hPa 和 500 hPa 上最大风速和相应的最大风速半径较为接近, 高层 300 hPa 上最大风速较小, 最大风速半径较大。 (4) 其最大风速存在较大差异, 最大风速半径则较为接近 (本文所得结果为 180 km 附近)。

图 3 给出了两个台风在形成过程中 V_{max} 和 R_M

随时间的变化。这里, V_{max} 为切向平均最大风速。可见: Bilis (图 3a 3c 3e) 从热带扰动发展到热带风暴期间 (8 月 17 日 06 时—19 日 06 时), 从低层到高层, V_{max} 迅速增大, R_M 迅速减小。850 hPa 500 hPa 的最大风速由 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增大到 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, R_M 由 400 km 减小到 200 km 左右。上述结果在这一时期的后半段 (热带低压发展为热带风暴时期) 表现得更加明显。在热带风暴和强热带风暴时期 (8 月 19 日 06 时—20 日 00 时), R_M 进一步减小, 相应的 V_{max} 呈上升趋势, 但变化的幅度不大。其后, 台风 Bilis 的强度进一步加强, 对应的切向平均最大风速半径继续减小, 最大风速继续增加, 20 日 06 时达到

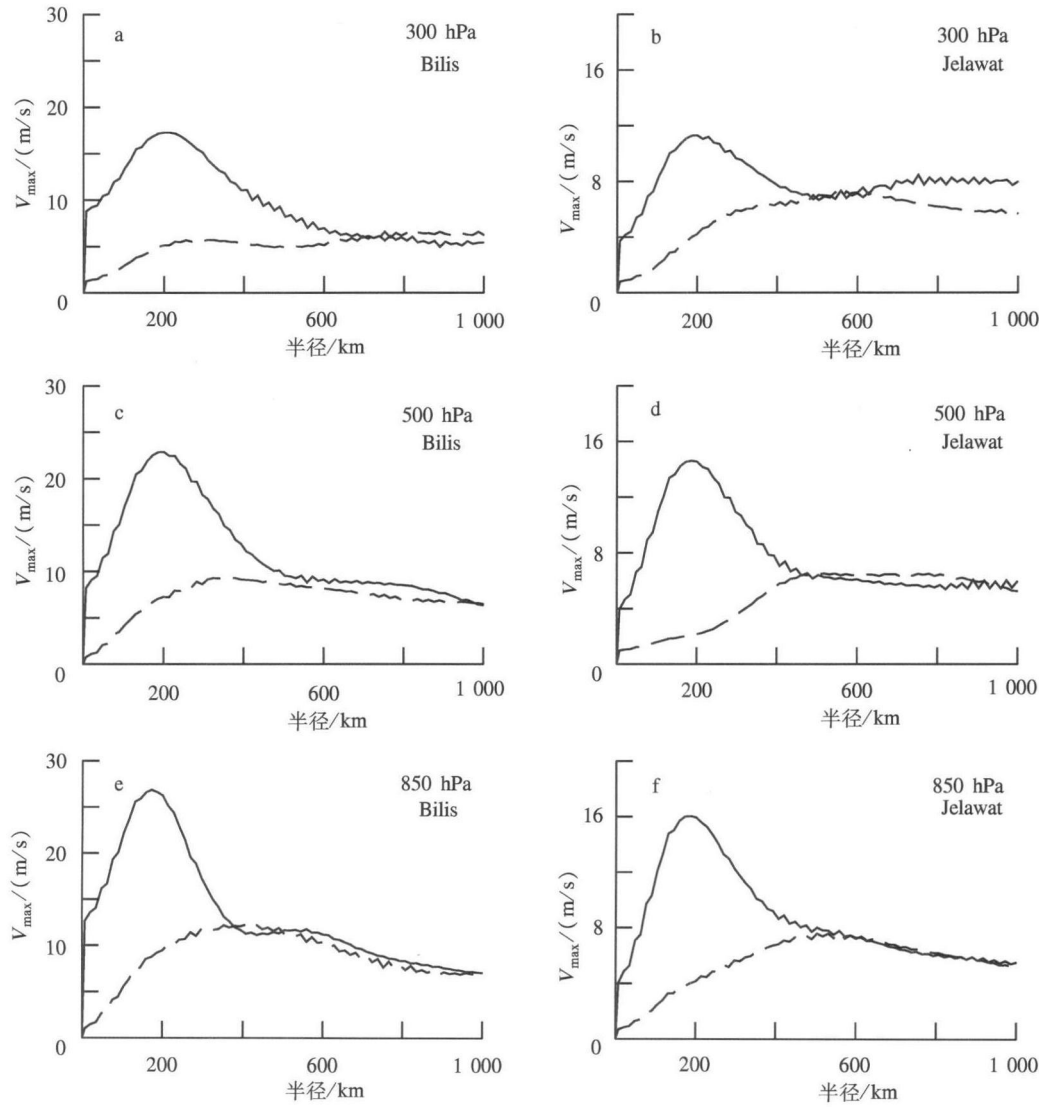


图 2 台风 Bilis (a c e) 和 Jelawat (b d f) 形成初期和编号时不同对流层上切向平均风廓线 (虚线: 台风形成初期; 实线: 达到台风强度)

Fig. 2 The tangential average wind profile at 850, 500, and 300 hPa for tropical cyclone (a c e) Bilis and (b d f) Jelawat (dashed line early period for typhoon; solid line formation period for typhoon)

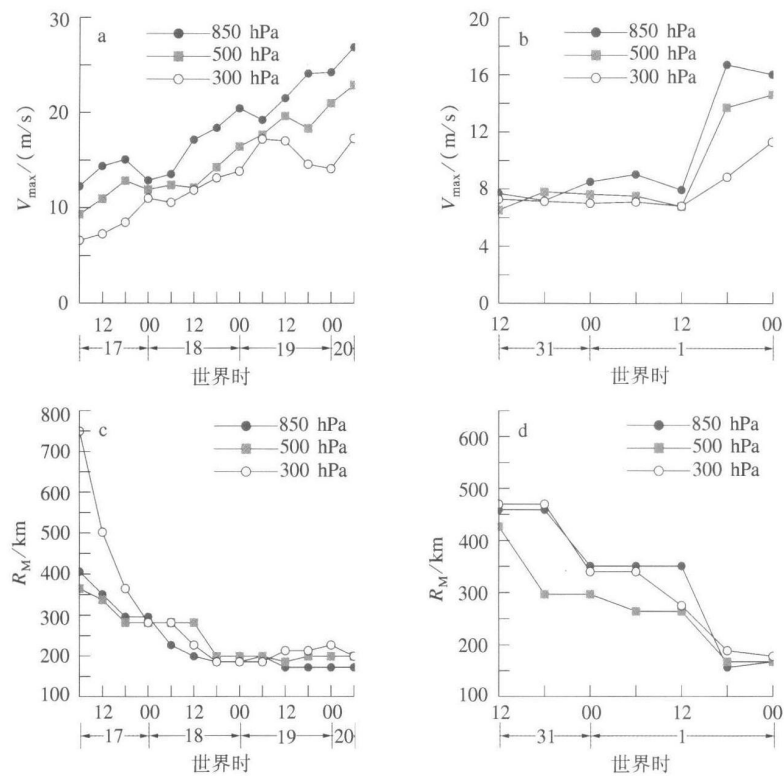


图 3 2000 年 8 月 17 日 06 时—20 日 06 时台风 B ilis 切向平均最大风速 (a 单位: m / s)、最大风速半径 (c 单位: km)
和 2000 年 7 月 31 日 12 时—8 月 2 日 00 时台风 J e k w at 切向平均最大风速 (b 单位: m / s)、
最大风速半径 (d 单位: km) 随时间变化

Fig. 3 T em por al e vo lu ti on of (a / b) m ax im u m ta n ge n ti al a ve ra ge w in d sp ee d (m / s) and
(c / d) ra di us (k m) fo r tro pi ca l cy cl on e B il is / J e k w at

from 0600 UTC 17 th—0600 UTC 20 th A ugust 2000 / 1200 UTC 31 st Ju ly—0000 UTC 2nd A ugust 2000, re sp ec ti ve ly

台风强度。在台风 B ilis 的整个形成过程中, 对流层中低层 850 hPa 和 500 hPa 上强度的发展大于高层 300 hPa 在时间上中低层也早于高层。

台风 J e k w at (图 3 b, 3 d, 3 f) 从热带扰动发展为台风的过程中 R_M 收缩趋势表现得更明显。从热带扰动发展为热带风暴期间 (7 月 31 日 12 时—8 月 01 日 12 时), 切向平均最大风速半径迅速减小, 最大风速值的变化不大, 切向平均风廓线图形的结构比较松散, 坡度较平, 最大值向右偏, 在热带风暴发展为台风之前的 6 h 内, 中低层切向平均最大风速半径由 350 km 迅速减小到 200 km 以内, 最大风速值也有一个显著的增加, 之后达到台风强度时, 从低层到高层最大风速半径都在 200 km 以内, 最大风速值的变化不大。和台风 B ilis 类似, 高层的变化没有中低层显著。

从上面的分析可以定性地看出, 在台风形成过程中, 台风三维场上均表现出最大风速半径减少, 最大风速增大的共同特征。

陈联寿等^[4]指出, 成熟台风的切向风速的径向分布最大风速半径以外的涡旋区域基本满足如下关系:

$$VR^x = C。 \tag{1}$$

即满足 M iller^[26] 的热带气旋切向风速分布模型:

$$V(r) = V_m \begin{cases} \frac{r}{r_m}, & 0 \leq r \leq r_m; \\ V_m \left(\frac{r_m}{r} \right)^x, & r_m \leq r < \infty. \end{cases} \tag{2}$$

其中: V_m 为热带气旋中心附近最大风速; r_m 为热带气旋中心附近最大风速半径; x 为涡旋切向风速随 r 衰减率的无因次参数。为检验以上讨论结果, 对两个台风计算所得的切向风速的径向分布值, 根据公式 (2) 进行最小二乘拟合。结果表明: 在最大风速半径以外的涡旋区域, 拟合与计算结果基本一致, 尤其在对流层中低层 850 hPa 和 500 hPa (图 4), 其他层时次和高度上的结果与此类似 (图略)。这表明以上的分析结果是可信的。同时分别计算了台风 B i

lis和 Jelaw a在不同高度上 x 值 (表 1), 可以发现, 在对流层中低层, x 值位于 0~ 1 之间, 符合热带气旋情况; 达到台风强度时, x 值达到最大, 也就是说达到台风强度时的风廓线坡度比较大^[4]。在高层 300 hPa x 值不是很稳定, 甚至出现了负值的情况。

由上述分析可见: 台风形成过程中, 在最大风速

半径以外的涡旋部分, 风速分布规律在对流层中低层 850 hPa 500 hPa基本符合 Miller热带气旋切向风速分布模型。达到台风强度时, 风廓线图形结构紧凑, 坡度较陡, 之后均沿偏西北方向移动。数值研究^[27]显示, 切向风速区狭窄, 最大风速半径较小的廓线, 与偏西北方向的路径以及强度维持或增强相对应。本文结果与文献 [27]是一致的。

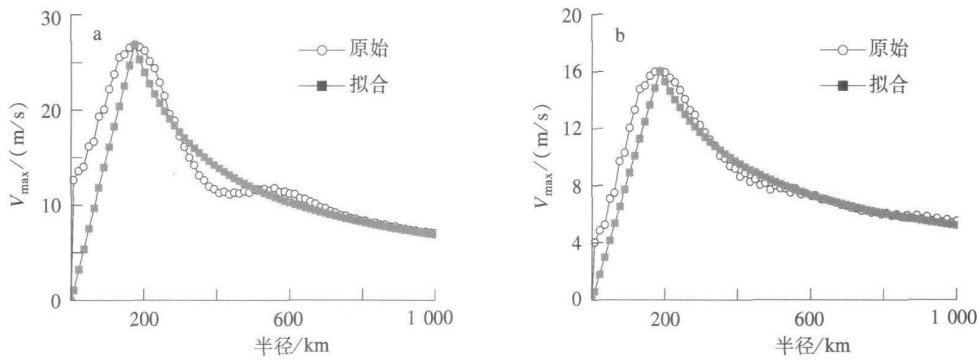


图 4 台风 Bilis (a) 和 Jelawat (b) 850 hPa原始风廓线和拟合风廓线

Fig 4 Original and fitted radial distributive profiles of tangential velocity at 850 hPa for typhoons (a) Bilis and (b) Jelawat

表 1 台风 Bilis和 Jehwat不同高度 x 值

Table 1 The values of parameter x (in formula (1)) at different levels for typhoons Bilis and Jelawat

气压 / hPa	Bilis				Jelawat			
	0817T06	0818T06	0819T06	0820T06	0731T12	0801T00	0801T12	0802T00
850	0.63	0.34	0.55	0.77	0.63	0.57	0.48	0.67
500	0.32	0.55	0.68	0.77	0.14	0.45	0.23	0.69
300	0.24	0.37	0.75	0.76	0.46	0.16	- 0.12	0.33

注: 0817T06表示 2000年 8月 17日 06时, 其他时次以此类推。

3 垂直速度场三维结构的变化

本节分析台风 Bilis和 Jelawat在 xoz 平面和 $yo z$ 平面垂直速度场的变化。

对台风 Bilis(图 5), 其垂直速度的 xoz 平面和 $yo z$ 平面分布的时间演变过程较为一致: 在热带扰动初期, 台风中心附近的垂直速度场有两个闭合中心 (图 5a 5b)。随着扰动进一步发展, 两个闭合中心逐步靠近, 于 18日 18时合并为一个中心 (图 5c, 5d), 上升运动进一步加强, 同时在中心附近开始出现下沉区。到 20日 06时台风形成时 (图 5e 5f), 整个台风中心附近的上升运动强烈发展, 周围为明显的下沉运动区, 此时已形成典型的台风环流结构。其中, 以对流层中层 700~ 400 hPa发展最强。中心位于 700 hPa附近, 强度大于 $- 2.0 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

图 6为台风 Jelawat垂直速度场在 xoz 剖面

$yo z$ 剖面的分布随时间的演变, 由图可见, 扰动初期在对流层中层首先出现弱的上升运动区 (图 6a- 6d)。随后, 上升运动加强, 上升运动区向上、向下发展。达到台风强度时 (02日 00时, 图 6g 6h), 上升运动区从 1 000~ 150 hPa附近贯穿整个对流层, 形成了深厚的上升运动区, 最大值中心出现在对流层中部 400~ 300 hPa附近。

从上面的分析可见, 在台风形成过程中, 台风中心附近的垂直上升运动的发展过程是从对流层中部开始, 通过多个弱的上升运动区相互合并, 同时向对流层低层和高层渗透, 最后形成中心在对流层中部并且贯穿整个对流层的强上升运动区。

4 位涡三维结构的变化

已有研究表明^[28-29], 在中低对流层, 热带气旋相对于环境而言是一个局地正位涡扰动, 热带气旋

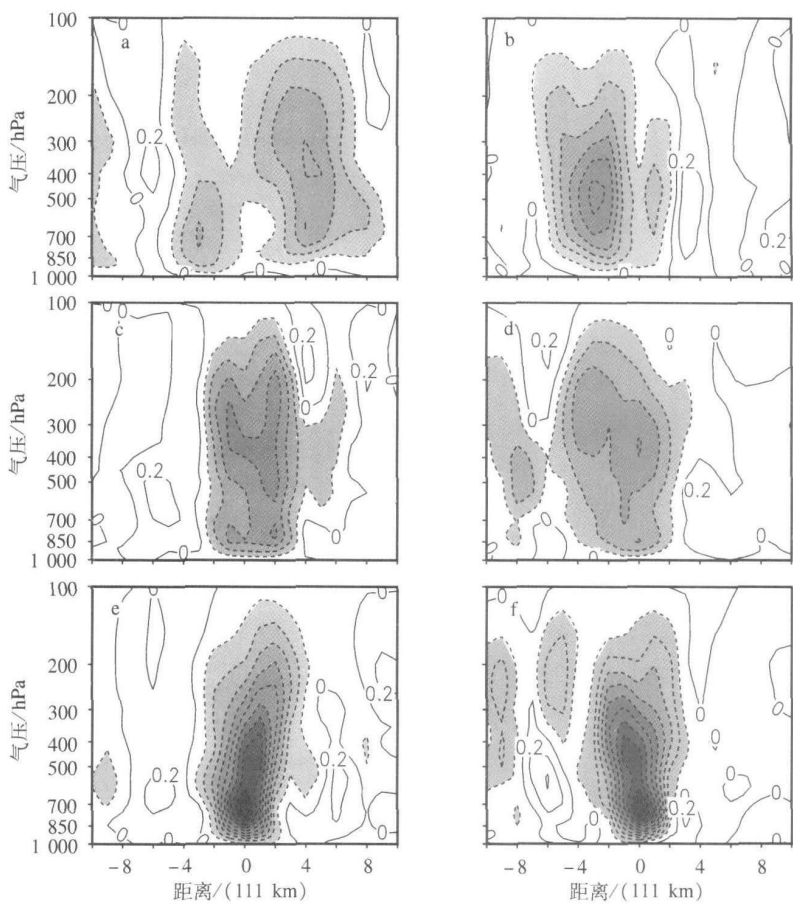


图 5 B ilis台风中心附近垂直速度的纬向—垂直剖面 (a c e)和经向—垂直剖面 (b d f)
(横坐标数字表示与台风中心的距离, 0表示台风中心; 等值线间隔为 $0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$;
阴影区为垂直速度 $\leq -0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升区)

a b 8月 17日 06时; c d 8月 18日 18时; e f 8月 20日 06时

Fig. 5 (a c e) Zonal and (b d f) meridional-vertical sections of vertical velocity across the centers of B ilis
at (a b) 0600 UTC 17th August, (c d) 1800 UTC 18th August and (e f) 0600 UTC 20th August
(The abscissa denotes the distance from the typhoon centre;
the contour interval is $0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; vertical velocities smaller than $-0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ are shaded)

的移动和发展相当于局地正位涡扰动的移动和发展。本文采用 Ertel^[30] 定义的位涡 (ξ_v)。
在 p 坐标中, 引入静力近似, 位涡 (ξ_{pv}) 的表达式为:

$$\xi_{pv} = -g(fk + \nabla_p \times V) \cdot \nabla_p \theta \tag{3}$$

假定垂直速度的水平变化比水平速度的垂直切变小得多, 位涡的表达式简化为:

$$\xi_{pv} = -g(\xi_p + f) \frac{\partial \theta}{\partial p} + g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial p} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial \phi} \tag{4}$$

式中: ξ_p 为 p 坐标系中的垂直涡度分量; f 是地转涡度; θ 为位温; 其他为气象常用符号。(4)式右端第一项的值取决于空气块绝对涡度的垂直分量与位温

垂直梯度的乘积, 是位涡的正压项;
 $\left[g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial p} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial \phi} \right]$ 包括斜压性和水平风垂直切变的贡献, 是位涡的斜压项。位势涡度的单位是 $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

图 7 是台风 B ilis 和 Je law a 形成过程中过台风中心的位涡纬向—垂直剖面的时间演变。由图可见: 台风 B ilis 在热带扰动初期 (8月 17日 06时), 在对流层中高层 400 hPa 附近有两个正值中心, 18日 06时已经形成了一个弱的正位涡柱, 500 hPa 附近的正值中心已增长到 $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$, 随着热带气旋强度的增强, 到 19日 06时, 位涡柱继续向上伸展, 已经到达 200 hPa 附近, 其中心

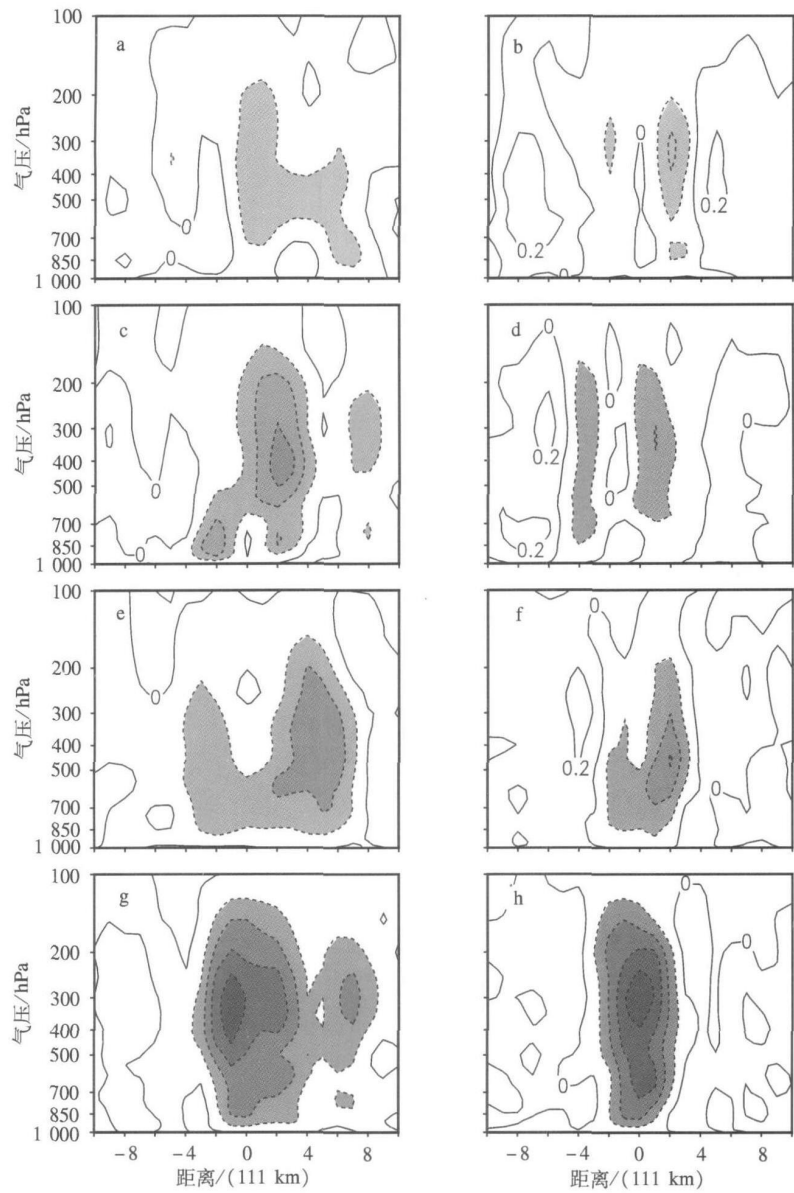


图 6 Jelawat 台风中心附近垂直速度的纬向—垂直剖面 (a c e g) 和经向—垂直剖面 (b d f h)
(横坐标数字表示与台风中心的距离, 0 表示台风中心;
等值线间隔为 $0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; 阴影区垂直速度 $\leq -0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

a b 7 月 31 日 12 时; c d 8 月 1 日 00 时; e f 8 月 1 日 12 时; g h 8 月 2 日 00 时

Fig 6 (a c e g) Zonal and (b d f h) meridional-vertical sections of vertical velocity across the centers of Jelawat at (a b) 1200 UTC 31st July, (c d) 0000 UTC 1st August (e f) 1200 UTC 1st August and (g h) 0000 UTC 2nd August
(The abscissa denotes the distance from the typhoon centre;
the contour interval is $0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; vertical velocities smaller than $-0.2 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ are shaded)

附近处的 400 hPa 高度上形成正的极大值中心, 大于 $3.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。20 日 06 时, 已经形成了近乎垂直的相当深厚的位涡柱, 极大值中心向下扩张, 在 700 hPa 附近形成了一个强度大于 $3.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的中心, 此时 Bilis 达到台风强度。台风 Jelawat 在热带扰动初期 (7 月 31

日 12 时), 在热带气旋中心 400 hPa 附近有一个弱的位涡正值区, 高层正的位涡扰动激发了低层正的位涡扰动, 8 月 1 日 12 时之后, 位涡的正值区出现了爆发性扩张, 达到台风强度时 (2 日 00 时), 其中中心附近已经形成了深厚的位涡柱, 400 hPa 附近的极大值中心大于 $3.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

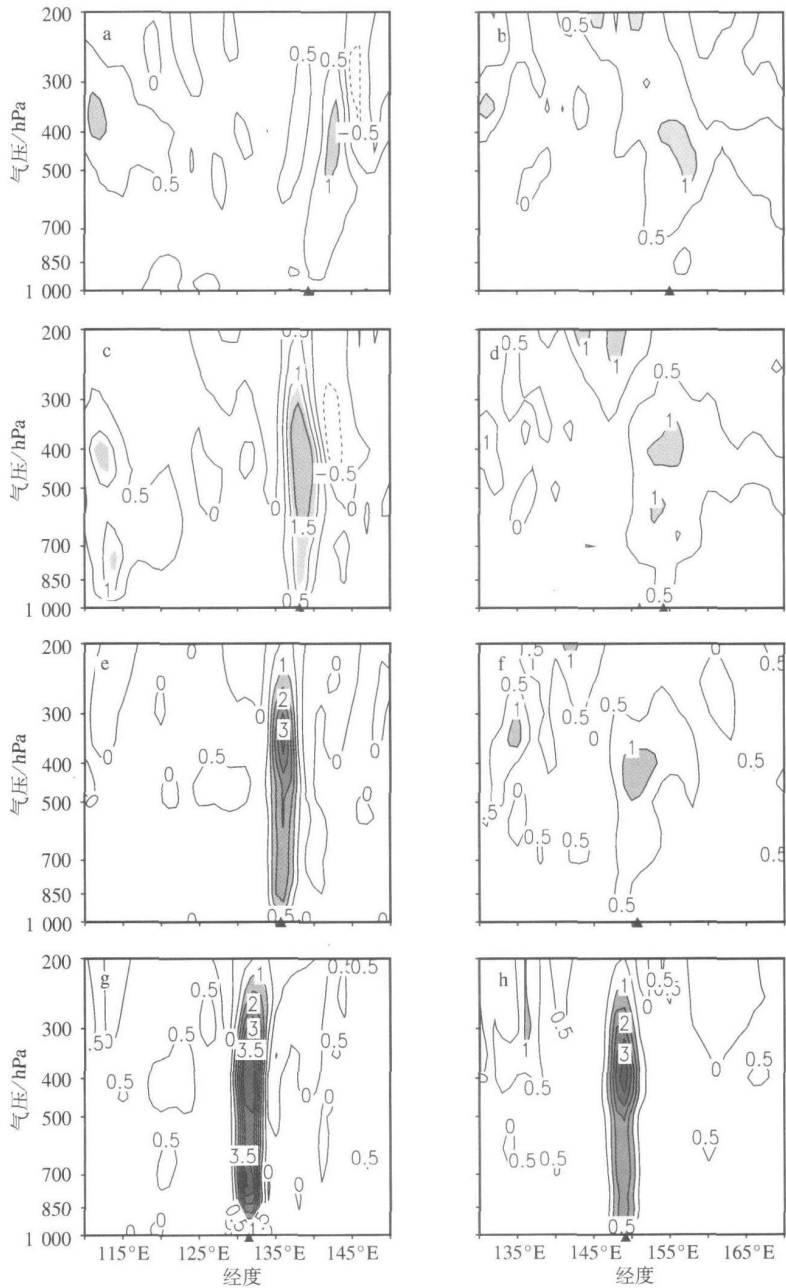


图 7 台风 Bilis (a c e g)和 Jekwat(h d f h)形成过程中过台风中心的位涡纬向—垂直剖面
(单位: $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$; 表示台风中心位置; 阴影区表示位涡值 ≥ 1.0)

a 8 月 17 日 06 时; b 7 月 31 日 12 时; c 8 月 18 日 06 时; d 8 月 01 日 00 时;
e 8 月 19 日 06 时; f 8 月 01 日 12 时; g 8 月 20 日 06 时; h 8 月 02 日 00 时

Fig. 7 Zonal-vertical sections across typhoon centers of potential vorticity for (a c e g) Bilis and (b d f h) Jekwat
(units $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$; triangles on the abscissa indicate typhoon centers; shaded area is more than 1.0)
a 0600 UTC 17th August; b 1200 UTC 31st July; c 0600 UTC 18th August; d 0000 UTC 1st August;
e 0600 UTC 19th August; f 1200 UTC 1st August; g 0600 UTC 20th August; h 0000 UTC 2nd August

为了进一步说明台风形成和位涡的联系, 做出沿经向垂直剖面的时间演变图 (图略)。通过比较可以看出, 位涡在台风形成过程中在经向、纬向上的发展十分类似。表现为: 热带扰动或热带低压时期,

对流层中高层有孤立的位涡扰动出现, 一般在 400 hPa 附近, 高层正的位涡扰动激发了低层正的位涡扰动, 当气旋上空有深厚的位涡柱时, 表明热带气旋得到强烈发展或达到台风强度。这说明位

涡和热带气旋的发生发展有很好的对应关系。

5 结论和讨论

(1) 台风的形成过程是一个伴随最大风速不断增加, 最大风速半径持续减小的过程, 同时也是垂直上升运动的范围从对流层中部向上向下扩张、强度不断增大的过程。在最大风速半径以外的涡旋部分, 风速分布规律在对流层中低层 850 hPa 500 hPa 基本符合 Miller 热带气旋切向风速分布模型。达到台风强度时, 整个热带气旋中心附近处于一个深厚的上升运动区内。

(2) 位涡和热带气旋的发生发展有很好的对应关系, 当气旋中心上空有深厚的正的位涡柱时, 表明热带气旋得到强烈发展或达到台风强度。

(3) 在台风的形成过程中, 各物理量的发展在对流层中低层 850 hPa 500 hPa 的变化最明显, 在对流层 300 hPa 相对较弱。

研究台风的形成过程具有重要的现实意义, 本文只是进行个例研究, 结果是初步的, 不少问题有待继续研究。

参考文献:

[1] Sippel J A, Nielsen-Gammon J W, Allen S E. The multiple-vortex nature of tropical cyclogenesis[J]. Mon Wea Rev, 2006, 134 (7): 1796-1814.

[2] Emanuel K. A century of scientific progress: An evaluation[M]. New York: American Geophysical Union Press, 2003: 177-204.

[3] 陈瑞闪. 台风[M]. 福州: 科学技术出版社, 2002: 686.

[4] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 2-3, 137-140, 40-41.

[5] Chamey J, Eliassen A. On the growth of the hurricane depression[J]. J Atmos Sci, 1964, 21(1): 68-75.

[6] Ooyama Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones[J]. J Atmos Sci, 1964, 26(1): 3-40.

[7] Emanuel K. The finite-amplitude nature of tropical cyclogenesis[J]. J Atmos Sci, 1991, 46(22): 3431-3456.

[8] Rotunno R, Emanuel K. An air-sea interaction theory for tropical cyclones: Part 1: Evolutionary study using a nonhydrostatic axisymmetric numerical model[J]. J Atmos Sci, 1987, 44(33): 542-561.

[9] Challa M, Pfister R L, Zhao Q, et al. Can eddy serve as a catalyst for hurricane and typhoon formation[J]. J Atmos Sci, 1998, 55 (20): 2201-2219.

[10] Simpson J, Ritchie E, Holland G J, et al. Mesoscale interactions in tropical cyclone genesis[J]. Mon Wea Rev, 1997, 125(10):

2643-2661.

[11] Simpson J, Halverson J, Ferrier B, et al. On the role of "hot tower" in tropical cyclone formation[J]. Meteorol Atmos Phys, 1998, 67(1): 15-35.

[12] 徐亚梅, 伍荣生. 热带气旋碧丽斯(2000) 发生的数值模拟: 非对称流的发展及转换[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 79-90.

[13] Moller J D, Montgomery M T. Tropical cyclone evolution via potential vorticity anomalies in a three dimensional balance model[J]. J Atmos Sci, 2000, 57(20): 3366-3387.

[14] Enagonio J, Montgomery M T. Tropical cyclogenesis via convectively forced vortex Rossby waves in a shallow water primitive equation model[J]. J Atmos Sci, 2001, 58(7): 685-706.

[15] 曹楚, 彭加毅, 余锦华. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析[J]. 南京气象学院报, 2006, 29(4): 455-461.

[16] 罗哲贤. 边缘区域扰动演变对台风结构的影响[J]. 大气科学, 1994, 18(5): 1-8.

[17] Chen Lianshou, Luo Zhexian. Effect of the interaction of different-scale vortices on the structure and motion of typhoons[J]. Adv Atmos Sci, 1995, 12(2): 207-214.

[18] Meng Zhiyong, Nagata Masashi, Chen Lianshou. A numerical study on the formation and development of island-induced cyclone and its impact on typhoon structure change and motion[J]. Acta Meteor Sinica, 1996, 10(4): 430-443.

[19] 徐祥德, 朱建成. 海洋加热场与科氏参数对台风影响的数值试验[J]. 大气科学, 1989, 13(1): 52-58.

[20] 罗哲贤. 热带气旋逆时针打转异常路径的可能成因[J]. 中国科学: B 辑, 1991, 7: 769-775.

[21] 龚葵, 陆维松. 人造热带气旋垂直结构问题初探[J]. 气象科学, 2005, 25(5): 459-464.

[22] 余晖, 王玉清. 热带气旋结构和强度变化的进展[C] / 香山科学会议第 275 次学术讨论会. 北京, 2006.

[23] 钟敏, 吕达仁, 杜秉玉. 9914 号台风降水云系雨强的三维结构初探[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 41-47.

[24] 薛建军. 对几个登陆热带气旋的分析研究[C] / 第十二届全国热带气旋科学讨论会摘要文集. 北京: 2002: 69-70.

[25] 宋松, 宋开碁. B 样条插值曲线的快速算法[J]. 系统工程与电子技术, 1995, 17(12): 44-52.

[26] Miller B I. Characteristics of hurricanes[J]. Science, 1967, 157: 1389-1399.

[27] 马红云, 马镜娴, 罗哲贤. 切向风速水平廓线对台风路径和强度的影响[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(6): 780-787.

[28] Shapiro L S, Franklin J L. Potential vorticity in hurricane Gertie[J]. Mon Wea Rev, 1995, 123(5): 1465-1475.

[29] Wu L G, Wang B. A potential vorticity tendency diagnostic approach for tropical cyclone motion[J]. Mon Wea Rev, 2000, 128(6): 1899-1911.

[30] Ertel H. Ein neuer hydrodynamischer Wirbelsatz[J]. Meteorolog Zeitschrift Braunschweig, 1942, 59(6): 277-281.