

# “810”号登陆台风暴雨的诊断研究\*

梁必骐 孙积华\*\*

(中山大学大气科学系)

**摘 要** 本文在统计华南登陆台风暴雨的基础上,着重对8107号台风登陆后的强度变化及其暴雨过程进行了诊断研究。结果表明,华南登陆台风及其降水的强度变化主要取决于水汽输送条件的变化,  $Q_1$ 、 $Q_2$ 的变化则表明,积云对流及其潜热加热的反馈作用是登陆台风及其暴雨维持和加强的主要机制。

**关键词** 华南, 登陆台风, 暴雨, 诊断研究

对于登陆台风及其暴雨形成条件的问题,国内外已作了不少研究<sup>[1~10]</sup>。但对华南登陆台风暴雨的研究不多,对其维持和加强机制的研究更少。本文在对华南登陆台风(包括热带风暴)暴雨的统计分析基础上,主要讨论8107号登陆台风及其暴雨过程的诊断研究结果,分析了其结构变化特征和热力、动力条件,初步给出了登陆台风及其暴雨维持和加强的物理过程。

## 1 资料和方法

本文所选的台风个例(8107号)及降水资料取自中央气象局(现改为中国气象局)出版的《台风年鉴》。计算所用资料包括 $20\sim 35^\circ\text{N}$ 、 $105\sim 125^\circ\text{E}$ 范围内的35个探空站的常规观测资料( $T$ 、 $Z$ 、 $T-T_d$ 、 $u$ 、 $v$ 、 $q$ 和 $q_s$ )。计算区域为 $10\times 10$ 经纬距,格距为 $1\times 1$ 经纬度,计算网格随台风移动而移动,在垂直方向上,经拉格朗日插值处理后取1000、900、800、700、600、500、400、300、200、100hPa,共10层。

对原始资料进行客观分析,得到上述7要素的网格值,然后由下式计算得到干静力能( $s$ )、湿静力能( $H$ )和饱和静力能( $H_s$ ):

$$S = CpT + gz \quad (1)$$

$$H = CpT + gz + Lq \quad (2)$$

$$H_s = CpT + gz + Lq_s \quad (3)$$

式中 $L$ 为凝结潜热系数。垂直速度是用连续方程计算的,并用 O'Brien 方法进行了订

本文1992年3月18日收到

• 国家自然科学基金资助项目

• • 现在云南省气象局工作

正。

根据区域平均的水汽收支方程

$$\frac{1}{Ag} \int_{P_r}^{P_s} \int_A \frac{\partial q}{\partial t} dp dA + \frac{1}{Ag} \int_{P_r}^{P_s} \int_A \nabla \cdot \bar{V} q dp dA = -m + E_s \quad (4)$$

计算了水汽通量散度，即将(4)式左边第二项化成线积分

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} \oint v_n q dl = \frac{1}{A} \left[ \sum_{i=1}^m (-\overline{v_i q_i} \cdot \Delta l_s) + \sum_{j=1}^n \overline{u_j q_j} \cdot \Delta l_E \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^m \overline{v_i q_i} \cdot \Delta l_N + \sum_{j=1}^n (-\overline{u_j q_j} \cdot \Delta l_W) \right] \quad (5) \end{aligned}$$

对1000~400hPa之间各界面的水汽输送作了计算。式中 $A$ 为研究区面积， $P_s$ 和 $P_r$ 分别为地面和顶层气压， $\Delta l_s$ 、 $\Delta l_E$ 、 $\Delta l_N$ 、 $\Delta l_W$ 分别为计算区(10°×10°经纬距)的南、东、北、西边界长度。

此外，利用

$$Q_1 = \frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + \nabla \cdot \bar{s} \bar{V} + \frac{\partial \bar{s} \bar{w}}{\partial P} = -\frac{\partial}{\partial P} (\overline{\omega' s'}) + L(\bar{c} - \bar{e}) + Q_R \quad (6)$$

$$Q_2 = -L \left( \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \nabla \cdot \bar{q} \bar{V} + \frac{\partial \bar{s} \bar{w}}{\partial P} \right) = \frac{\partial}{\partial P} (\overline{\omega' q'}) + \bar{c} - \bar{e} \quad (7)$$

计算了显热源( $Q_1$ )和显水汽汇( $Q_2$ )。式中 $Q_R$ 是辐射加热率，本文 $Q_R$ 值取自 Dopplack<sup>[11]</sup>计算的气候平均值； $c$ 是凝结率； $e$ 是液态水的蒸发率。

各种参量的垂直廓线都是取台风中心区域(400×400km<sup>2</sup>)的平均值。

## 2 华南台风暴雨的统计和8107号登陆台风暴雨的特点

据统计<sup>[12]</sup>，登陆中国的热带气旋大约有90%集中在华南，而且登陆季节最长，每年有8个月可出现登陆台风，而登陆华南的台风(包括热带风暴)几乎都能引起暴雨。根据登陆广东和海南的199个台风资料分析，平均每年有4个登陆台风，它们除极少数只造成单站暴雨外，绝大多数都会给华南沿海带来较大范围的暴雨过程，而且相当一部份能产生大暴雨和特大暴雨。据初步统计<sup>1)</sup>，70%的登陆台风能造成大暴雨(日雨量≥100mm)，特大暴雨(日雨量≥200mm)约占总数的40%。在登陆台风中，尤其是登陆后维持甚至加强的台风更易产生大暴雨。本文重点分析的8107号登陆台风就是这类典型个例之一。

8107号台风于1981年7月18日在菲律宾东部海面形成，20日08时在福建长乐登陆，25日在湖南境内消失。这是一个比较异常的登陆台风，其主要特点是：①登陆后路径异常，先西移后南行，然后又打转北上(见图1)；②强度变化不稳定，登陆时减弱快(风力由11级减为6级)，进入内地后强度又有所加强(见表1)；③维持时间较长，从登陆至消亡共历时5天；④影响范围广，在该台风影响下，台、闽、浙、赣、粤、琼、

1) 梁必骥，朱天庆，李贤枢。华南登陆台风暴雨的分析。1983

桂、黔、湘等省出现了大范围降水,其中有160个县市出现暴雨,⑤台风降水强度大,有52个站出现了大暴雨,过程最大降水量为659mm(北海),最大日降水量和一小时降水量分别为444mm和78mm(北海,23日)。

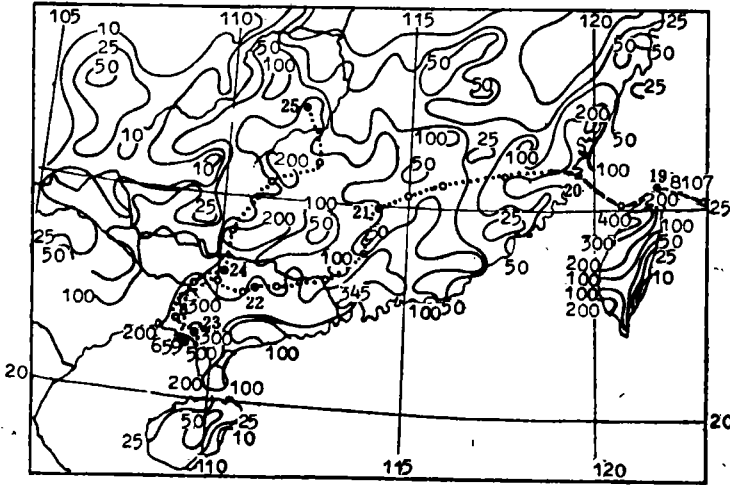


图1 8107号登陆台风路径及其降水量分布 (单位:mm)

Fig.1 The path and the rainfall amount of landed tropical cyclone "Maury"

表1 8107号台风登陆后的强度变化及中心附近最大降水量

Tab.1 The intensity change and maximum precipitation of "Maury" after its landing

| 日 期   |            | 20    |       | 21    |       | 22    |       | 23    |       | 24    |       | 25    |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 时 间   |            | 08    | 20    | 08    | 20    | 08    | 20    | 08    | 20    | 08    | 20    | 02    |
| 中心位置  | 纬度(N)      | 25.8  | 25.6  | 25.0  | 23.2  | 22.8  | 22.9  | 21.6  | 22.1  | 23.2  | 25.4  | 26.0  |
|       | 经度(E)      | 119.7 | 115.8 | 114.2 | 112.8 | 111.0 | 110.0 | 109.5 | 109.2 | 110.2 | 111.2 | 112.5 |
| 中心强度  | 气压(hPa)    | 987   | 997   | 998   | 997   | 997   | 995   | 995   | 995   | 995   | 997   | 998   |
|       | 风速(m/s)    | 30    | 12    | 10    | 10    | 10    | 10    | 12    | 10/15 | 10/12 | 10    | 10    |
| 最大日雨量 | 08~08时(mm) | 81    | /     | 151   | /     | 290   | /     | 444   | /     | 161   | /     | 87    |
|       | 地点         | 大田    | /     | 郁南    | /     | 围洲岛   | /     | 北海    | /     | 贺县    | /     | 余干    |

在8107号台风的影响下,华南地区出现了大范围暴雨,其中珠江三角洲和桂东南地区出现了大暴雨和特大暴雨.表2给出了部份测站记录.由表可知,这些地区的大暴雨和最大降水量是出现在登陆台风低压重新加强时期(22日08时~24日08时)。

8107号台风登陆后的强弱变化主要取决于其水汽输送条件.由图2可以看到,台风

表2 8107号台风大暴雨分布 (单位: mm)

Tab.2 The heavy rainfall distribution of landed tropical cyclone "Maury"

| 地点                | 广<br>州 | 番<br>禺 | 深<br>圳 | 台<br>山 | 开<br>平 | 中<br>山 | 新<br>会 | 高<br>鹤 | 顺<br>德 | 江<br>门 | 陆<br>川 | 横<br>县 | 灵<br>山 | 涠<br>洲<br>岛 | 北<br>海 | 浦<br>北 |     |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|-----|
| 过程雨量              | 208    | 345    | 159    | 262    | 200    | 334    | 261    | 212    | 231    | 228    | 277    | 241    | 331    | 541         | 659    | 279    |     |
| 总雨量               | 日期     | 19     | 20     | 20     | 21     | 22     | 21     | 22     | 21     | 20     | 22     | 21     | 21     | 21          | 21     | 21     |     |
|                   |        | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }      | }           | }      | }      |     |
|                   |        | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24     | 24          | 24     | 24     |     |
| 最大日雨量<br>(08~08时) | 雨量     | 113    | 180    | 107    | 182    | 142    | 311    | 161    | 113    | 76     | 129    | 109    | 104    | 173         | 290    | 444    | 171 |
|                   | 日期     | 24     | 23     | 23     | 23     | 23     | 23     | 23     | 24     | 23     | 23     | 23     | 22     | 23          | 22     | 23     | 23  |

登陆后(21日),由于与之相伴的热带辐合带(ITCZ)断裂,西南季风对水汽的输送被切断,加之地面摩擦的影响,台风很快减弱成低压(中心附近风速由20日08时的30 m/s减至21日08时的10m/s),降水强度也较小。22日台风低压移至粤中地区,与进入华南的ITCZ结合,重新获得水汽而开始加强,23日该低压入海(北部湾)进一步获得充足水汽,因而登陆台风低压发展最强,暴雨也最强烈,大暴雨和特大暴雨都出现在23日前后。24日以后,台风低压北上减弱消失,珠江三角洲降水也随之减小,25日结束。

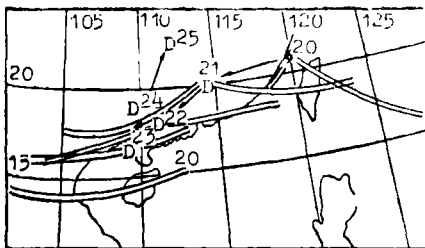


图2 1981年7月20~25日综合动态图 (双实线为ITCZ,数字为日期)

Fig.2 Comprehensive motion from 20-25th of July in 1981

由以上分析可见,8107号台风登陆后重新发展和暴雨的增强,主要取决于ITCZ北抬和西南季风对水汽的输送。在卫星云图上,也可清楚看出这一特点。

### 3 台风暴雨的热力和动力条件分析

台风登陆后,由于海洋热源被切断,水汽供应减少,它通常是迅速减弱的,降水也逐渐减小,8107号台风刚登陆时就是如此。但由前面分析可知,该台风在22日以后由于重新获得大量水汽供应,所以台风低压有所增强,降水量也明显增大。从计算结果也可清楚看到,有利的热力和动力条件导致了该登陆台风及其暴雨的增强。

#### 3.1 水汽条件

表3给出了水汽通量散度的计算结果,可以看到,在台风登陆初期,由于东边界输入的水汽明显减少,总辐合量也小,还不足10万t/s,因而台风及其降水都较弱。22~

23日, 由于来自南边界的水汽显著增大, 同时北边界也有水汽输入, 所以台风区水汽辐合量明显增强, 22、23日分别达-36.0和-30.3万t/s, 比21日增加三倍多, 因而登陆后的台风低压和暴雨也随之达到最强。以后随着水汽辐合的减弱, 导致了台风的衰亡和降水的结束。

由图3a也可看到, 在对流层, 区域平均(400×400km<sup>2</sup>)的湿静力能( $H$ )与饱和湿静力能( $H_s$ )的垂直廓线十分相似, 但在低层,  $H$ 明显大于干静力能( $S$ ), 这也表明低层存在较多水汽。

表3 通过各边界的水汽通量散度(1000~400hPa, 10<sup>8</sup>kg/s)

Tab.3 Water vapour transfer through every edges

| 日期     | 东      | 西     | 南      | 北      | 总计     |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 20日08时 | -4.722 | 0.270 | 3.907  | 0.120  | -0.425 |
| 21日08时 | -0.065 | 1.536 | -0.364 | -1.871 | -0.960 |
| 22日08时 | 0.930  | 0.833 | -2.067 | -2.756 | -3.596 |
| 23日08时 | 1.970  | 0.992 | -5.401 | -0.887 | -3.026 |
| 24日08时 | 3.794  | 9.042 | -4.648 | -0.167 | -0.646 |

### 3.2 动力条件

在登陆台风低压增强时期(22~23日), 其涡度( $\zeta$ ), 散度( $D$ )和垂直速度( $\omega$ )的区域平均垂直廓线变化不大, 基本是相似的, 只是它们的数值逐日有所增大, 至23日达最大。图3b给出了这些参数在22日的垂直变化廓线。可以看出, 高层辐散、低层辐合的配置相当好, 无辐散层位于600hPa附近。24日这种结构明显减弱, 这与台风强度和降水的变化是一致的。在涡度场上, 300hPa以下是正涡度, 以上为负涡度。低层正涡度逐日增大, 也是23日达最强, 直至24日仍维持较大值。计算结果表明, 涡度场与散度场结构一样, 都是登陆时不对称, 登陆后趋于对称。

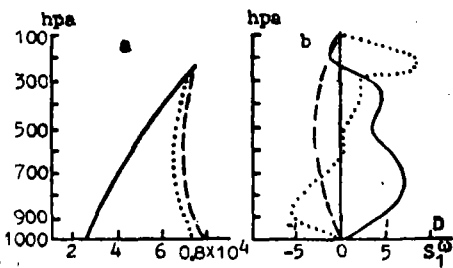


图3 8107号登陆台风的热力和动力结构(22日)  
(a)  $S$ (实线)、 $H$ (点线)、 $H_s$ (虚线)  
(单位:  $J \cdot kg^{-1}$ )  
(b)  $\zeta$ (实线)、 $D$ (点线)、 $\omega$ (虚线)  
(单位:  $10^{-5}s^{-1}$ ,  $10^{-3}hPa \cdot S^{-1}$ )

Fig.3 Structure of thermodynamics and dynamics of landed tropical cyclone "Maury"

从垂直运动场来看(图略), 在台风中心附近区域, 登陆时(20日)对流层出现弱的下沉运动和上升运动并存。但21日下沉运动不明显, 整层为上升运动, 并随时间增强, 23日上升运动最强, 最大值出现在600~500hPa之间, 24日虽仍为上升运动, 但数值已减小。

上述结构为登陆台风的重新增强和大暴雨的产生(22~23日)提供了很有利的动力条件。24日虽然台风低压减弱,但仍存在有利的动力条件,所以台风暴雨仍然维持,但强度已明显减小。

### 3.3 水热收支

根据(6)式和(7)式的计算结果,给出了8107号台风登陆后逐日的 $Q_1$ 、 $Q_2$ 和 $Q_R$ 的垂直廓线(图4)。可以看到,辐射加热( $Q_R$ )在整个过程中都很小, $Q_1$ 和 $Q_2$ 在台风登陆时(20日)也较小,它们的垂直廓线较相似,这表明这时积云对流较弱。21日以后, $Q_1$ 、 $Q_2$ 都明显增大,22~23日达最大,它们的最大值所在高度也不同,21日 $Q_1$ 、 $Q_2$ 最大值分别位于500和600hPa,22~23日 $Q_2$ 最大值都出现700hPa附近, $Q_1$ 最大值则分别出现在500和500~300hPa之间。上述情况表明,积云对流及其潜热加热在逐日加强,并不断向上扩展,这说明深厚的穿透性积云对台风暴雨的加强起了主导作用。

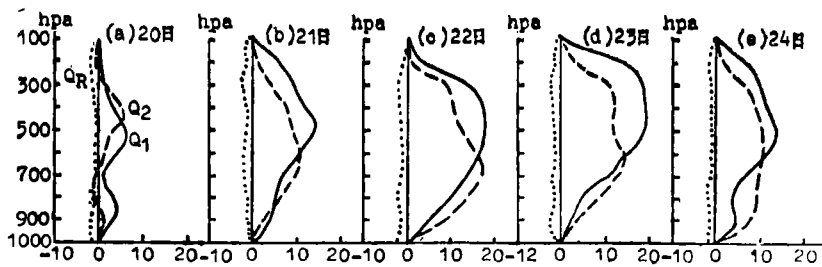
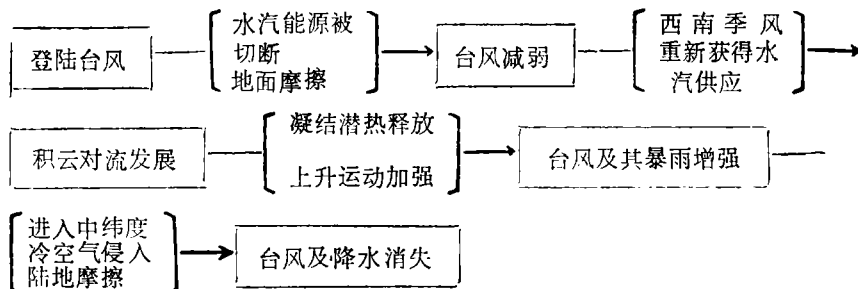


图4 8107号登陆台风中心区的 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_R$ 垂直廓线(单位:  $^{\circ}\text{C}/\text{d}$ )

Fig.4 Normal profiles of  $Q_1$ ,  $Q_2$  and  $Q_R$  of landed tropical cyclone "Maury"

根据上述台风个例分析,我们可以把登陆台风及其暴雨的强度变化过程概括成如下物理框图:



## 4 结论

(1)登陆华南的热带气旋一般都会造成大范围暴雨,尤其是登陆后加强的热带气旋或它与其他系统(如ITCZ、西南季风等)结合时,更能产生大暴雨和特大暴雨。

(2)登陆台风及其降水的强度变化主要取决于水汽输送条件的变化,而西南季风是

主要的水汽输送通道。水汽能源被切断是台风衰减的主要原因,登陆台风获得新的水汽供应,可能重新发展加强。

(3)热带气旋登陆时,涡、散度场呈不对称结构,加强中的登陆热带气旋则呈对称性结构,其中心附近是高层辐散、低层辐合,中低层是气旋性涡度,整层为上升运动。

(4)随着登陆热带气旋的重新增强,其中心区的视热源和视水汽汇也随之加强并向上扩展,二者垂直廓线的差异也渐趋明显,表明积云对流的加强。

(5)积云对流及其潜热加热的反馈作用,将促使登陆台风及其暴雨增强,是台风暴雨维持和加强的主要机制。

### 参 考 文 献

- 1 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论.北京:科学出版社,1979.440~481
- 2 陶诗言等.中国之暴雨.北京:科学出版社,1980.121~133
- 3 Vincent D G et al. Mon Wea Rev, 1974(102): 35~47
- 4 Chien H H and Smith P J. Mon Wea Rev, 1977(105): 67~77
- 5 Edmen H J and Vincent D G. Mon Wea Rev, 1979(107): 295~313
- 6 Dimege G T and Bosart L F. Man Wea Rev, 1982(110): 412~438
- 7 谢安等.气象学报,1982(40): 289~299
- 8 谭锐志,梁必骐.中山大学学报(自然科学版),1989,28(4): 15~21
- 9 孙积华,梁必骐.低纬高原天气,1989(2): 43~51
- 10 Tan Reizhi and Liang Biqi. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1990(14): 423~435
- 11 Dopplick T G. J Atmos Sci, 1972(29): 1278~1294
- 12 梁必骐,梁经萍.南京大学学报(自然灾害研究专辑),1991,288~293

## A Diagnostic Study on the Heavy Rainfall of Landing Typhoon "Maury"

Liang Biqi\* Shun Jihua

**Abstract** This paper presents a sfatical result about the heavy rainfall associatea with landing typhoons in the South China, with special discussion on the intensity change and heavy rainfall process of typhoon "Maury". Results show that the intensity change of typhoon and its rainfall mainly depended on the condition of water vaqour transportation. The change of  $Q_1$ ,  $Q_2$  show that the feedback effects of cunulus convection and the latent hear releised to maintain and strenghen of the landing typhoon and its heary rainfall.

**Keywords** South China, landing typhoon, heavy rainfall, diagnostic study

\*Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University