

# 0513号台风泰利异常强暴雨过程的综合分析

何立富<sup>1</sup> 梁生俊<sup>2</sup> 毛卫星<sup>1</sup> 陈涛<sup>1</sup>

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 陕西省气象局)

**提 要:** 利用地面加密观测资料和 NCEP 再分析资料, 对 0513 号台风泰利进入江西减弱成低气压引发的异常强暴雨过程进行了综合分析。结果表明: 移进赣西北后, 台风泰利减弱的低气压北部有明显的冷空气侵入, 导致行星边界层能量锋区加强; 华西地区大陆高压阻挡了台风低压西移, 其北侧弱环境流场的配置为台风低压长时间停滞提供了有利的背景条件; 低层稳定的水汽输送、中纬度冷锋前部的东北气流与来自低纬海洋上的东南气流在台风低压附近形成明显辐合有利于强暴雨过程的发展; 异常强暴雨主要分布在大别山东麓和庐山九岭山脉迎风坡上, 地形的抬升对暴雨增幅有明显作用。

**关键词:** 台风泰利 能量锋区 东南气流 暴雨增幅

## Analysis of Torrential Rain Event of Landing Typhoon Tailim

He Lifu<sup>1</sup> Liang Shengjun<sup>2</sup> Mao Weixing<sup>1</sup> Chen Tao<sup>1</sup>

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Shaanxi Meteorological Bureau)

**Abstract:** A synthetic analysis of heavy rainfall event of typhoon Tailim depression in Jiangxi Province during 2—4 Sep. 2005 is made with the dense observational data and NCEP re-analysis data. The results show that the weak cold air invading to the typhoon depression led to the strength of energy front in PBL when the typhoon depression is steady in northwest of Jiangxi. The development of continental high in West China retarded the westward moving of typhoon depression. A weak environment stream field provided a good condition to its maintaining long time and staying in northwest of Jiangxi. The sustained vapor transport and divergence of NE cold current from the cold front in meddle latitude and SE warm flow from

ocean in low latitude were helpful to the severe torrential rainfall event as the good dynamical and thermal conditions to the typhoon depression in low tropospheric levels. It was demonstrated that the orographic effect contributed greatly to precipitation enhancement due to orographic lifting and convergence with intensified precipitation on the windward slope of the Dabie mountains and Lushan mountain as well as Jiuling mountains.

**Key Words:** typhoon energy front SE current intensified precipitation

## 引言

长期以来, 登陆台风所带来的暴雨一直受到广泛关注<sup>[1~3]</sup>。研究表明, 与中纬度槽相互结合的台风暴雨多出现在台风中心北方, 距其中心较远。暴雨螺旋雨带具有一定的中尺度特征<sup>[4,5]</sup>, 暴雨区分布与台风非对称结构关系密切<sup>[6]</sup>。大量观测事实还发现, 登陆台风暴雨往往与中纬度西风带天气系统的影响有关<sup>[7]</sup>, 特别是西风槽波动、低空急流以及副热带高压之间的良好配置和相互作用可使台风降水显著加大, 环境大气动能和位能的输入可能是台风暖性低压长久不消的重要原因<sup>[8]</sup>。有学者对冷空气活动对台风降水的影响作过分析, 认为弱冷空气的侵入有利于台风发展, 而强冷空气则使其减弱, 冷空气活动与台风降水增幅、有效位能的变化有密切联系, 当锋面抵达台风外围时可造成斜压有效位能和凝结潜热的释放<sup>[9,10]</sup>。更多研究工作集中在登陆台风暴雨突然加强的机理方面, 一般认为, 暴雨增幅与明显超地转性质的东南风低空急流有关, 地形阻挡及喇叭口地形辐合效应对暴雨的增幅也有明显作用<sup>[11]</sup>。也有研究证实西风带系统与台风共同作用的暴雨区具有明显的斜压性, 斜压能量可能是登陆台风剩余低压在陆上长时间维持的另一种能量<sup>[12]</sup>。还有人提出台风暴雨的增幅过程与台风中 $\alpha$ 尺度重力惯性波的发展、传播以及积云对流潜热反馈有关<sup>[13]</sup>, 大尺度非线性平流项的作用激发出大尺度重力惯性波, 积云对流潜热加热作用导致非地转风场扰动大大加强, 从而使重力惯性波幅

加大, 上升运动增强, 暴雨加大。这些研究从不同侧面加深了对台风暴雨特别是暴雨突然增强机制的认识。

上述成果大多是针对台风个例的某一方面, 缺乏对暴雨过程的总体分析。在实际预报业务中, 很多台风个例是多因素共同作用的结果。本文利用实测地面加密观测资料、FY-2号卫星资料和NCEP再分析资料对2005年9月2—4日台风泰利登陆后进入江西境内并长时间停滞少动对江西、安徽、湖北等地造成异常强暴雨过程进行了综合分析, 以利进一步加强这类台风低压异常强暴雨形成条件和机理的认识。

## 1 强暴雨过程概况

台风泰利于9月1日凌晨登陆台湾省花莲后, 于当日14时30分在福建省莆田市再次登陆, 登陆时中心气压为970hPa, 近中心最大风速 $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。并继续向WWN方向移动, 9月2日凌晨进入江西省境内并减弱为热带风暴, 上午进一步减弱为热带低气压, 傍晚前后到达赣西北一带, 此后台风低压一直稳定少动, 直至3日21时在南昌附近填塞消亡。台风泰利在登陆前期就给福建、浙江等地带来大风和强降雨, 而进入江西省后, 由于台风低压长时间停滞, 中纬度地区有弱冷空气南下与之结合, 致使江西北部、安徽西南部、湖北东南部持续40多个小时出现异常强暴雨, 不少地区的降水量大大超过历史纪录并相继发生严重暴雨洪涝以及山体滑坡、泥石流等次生地质灾害, 造成了重大经济损失和人员伤亡。据初步统计,

福建、浙江、江西、安徽和湖北等地受灾人口达1600万、死亡96人、失踪35人，直接经济损失达120.6亿元。台风泰利是2005年登陆台风中产生降水最强、死亡人员最多的台风。

受台风泰利及其减弱的低气压影响，8月31日08时至9月4日08时，福建东部和南部、浙江南部、江西北部、安徽中部、

布来看(图1b)，庐山一带的降雨是从9月2日01时(即泰利即将进入江西境内)开始，至4日08时结束，并在9月2—3日和3—4日分别有两次明显的雨峰出现。第1次雨峰主要是由于台风低压向赣西北逐渐逼近所致；而第2次雨峰则为冷空气南下与台风低压暖湿气流共同作用的结果。值得一提的是9月2日02时至3日02时，江西庐山24小时降水量高达529mm，刷新了该站的历史纪录。

## 2 台风低压长时停滞原因分析

### 2.1 环境场特征

经对500hPa大尺度环流背景分析表明，泰利9月1日下午登陆福建后受西太平洋副热带高压(以下简称副高)外围气流引导，继续向WNW方向移动。与此同时，位于青藏高原东部的大陆高压明显加强，588dagpm线从川西高原不断东扩至陕南到重庆一带，2日14时其中心强度超过592dagpm。2日20时(图2)，大陆高压中心东移到川西高原附近，与东部海洋上副高对峙，从而阻挡了台风低压继续西移。中纬度地区从东北到华北一带为长波槽区，新疆北部至蒙古国西部为高压区，从东北至华北一带的长波槽中不断有弱冷空气扩散南下。由于台风低压北部是风速很小的鞍形场，环境场引导作用不断减弱，致使位于赣西北的台风低压稳定少动。同时副高西南侧的东南气流源源不断将海洋上的水汽输进台风低压环流中，有利于其强度经久不衰，从而台风低压在江西滞留长达40多个小时。在相应的850hPa上(图略)，台风低压环流不仅完整，而且有暖温度中心相伴。环流北侧气压梯度较大，有一支较强的偏东气流。从东北地区到华南北部有一E-W向温度槽，其前缘有冷槽伸向台风低压区中，表明有弱冷空气侵入台风低压环流。卫星云图则显示(图略)，在中纬度冷锋云带上不断甩出小片

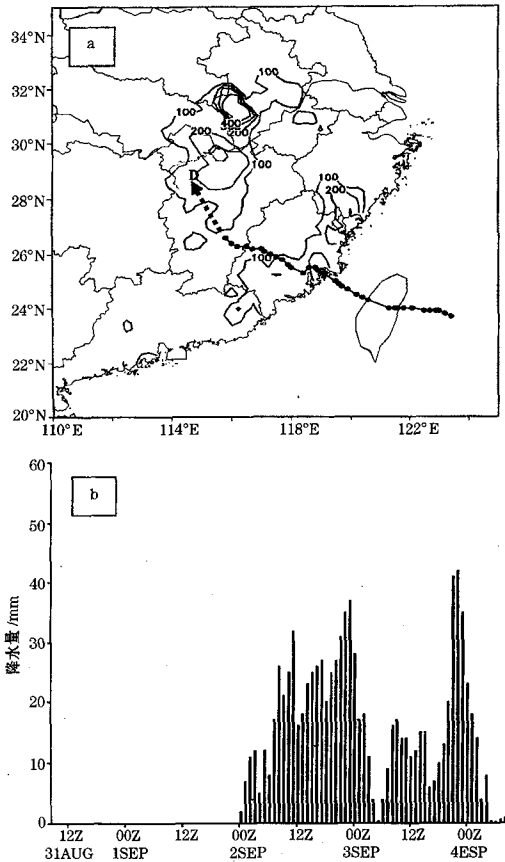


图1 2005年8月31日08时—9月4日08时过程总雨量(a)和庐山站(58506)逐小时雨量(b)

湖北东部等地降水量一般有100~300mm，其中江西、安徽、湖北等地部分地区有300~400mm(图1a)。过程雨量大于400mm的地点有：江西庐山940mm、瑞昌428mm，安徽岳岳573mm、霍山445mm、金寨433mm。从江西庐山站逐小时雨量分

不规则云系南移并入到台风低压涡旋云系北部，从而在江淮一带形成一条稳定少变的外围云系。

一直在 28~31°N 间摆动，且强度减弱非常缓慢。

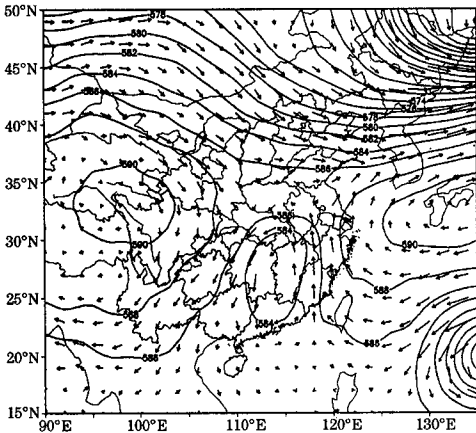


图 2 2005 年 9 月 2 日 20 时 500hPa 位势高度与风矢量

### 2.2 动力学条件分析

在 2 日 08 时至 3 日 20 时台风低压维持期间，江西大部、安徽中南部及湖北东部低层存在明显的正涡度区和散度辐合区，与暴雨落区有较好对应关系。正涡度中心主要位于台风低压本体环流附近及北侧风向切变和风速辐合地区，强辐合区位于台风低压北侧。随着台风低压不断减弱，暴雨区的正涡度和水平辐合也明显减小，涡度最大值由  $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  减小到不足  $0.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，散度负极值也由  $-0.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  减小至  $-0.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  并西移到湖南（图略）。

图 3 是 9 月 2 日 20 时沿 115°E 涡度和垂直速度经向剖面图，由图可见，台风低压上空存在一正涡度柱，正涡度向上伸展到 300hPa，最大正涡度在 700hPa 以下；上升运动区位于 27~32°N 台风低压及北部上空，暴雨区与强上升运动区相对应。上升运动伸展至 200hPa 层，强上升运动主要在 900hPa 附近，最大值为  $-0.9 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{ s}^{-1}$ ；在台风低压维持期间，强上升运动区

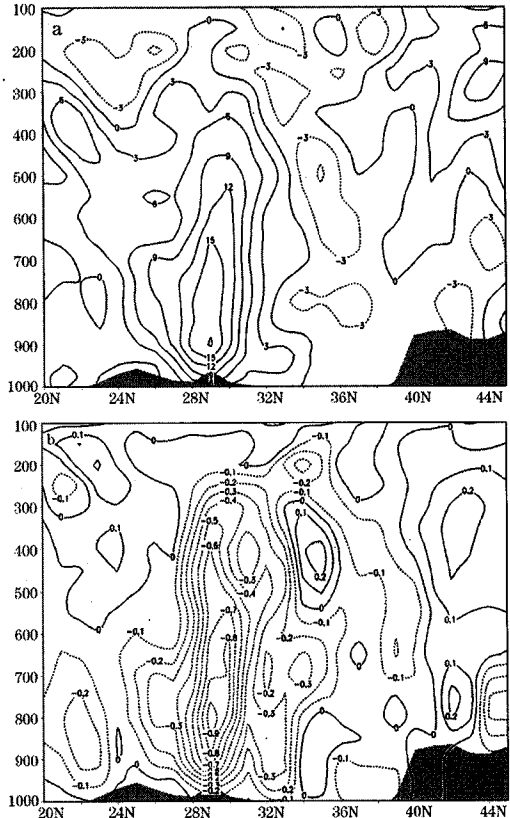


图 3 2005 年 9 月 2 日 20 时沿 115°E 经台风低压中心涡度 (a, 单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) 和垂直速度 (b, 单位:  $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{ s}^{-1}$ )

### 2.3 水汽条件分析

对水汽输送特征的分析表明，来自东部海面强水汽输送对台风低压的维持和暴雨发展起重要作用。从 9 月 3 日 14 时 850hPa 风矢量 (图 4a) 可清楚看到，此次暴雨过程水汽源地主要在东南部海面，在台风低压东部及偏北地区始终存在一条明显的水汽输送带。2 日 14 时，强水汽通量主要在华东地区，通量大值区位于台风低压东部和西北部，中心极大值为  $26 \text{ g} \cdot \text{ cm}^{-1} \cdot \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{ s}^{-1}$ ，暴雨主要发生在水汽通量大值区或梯

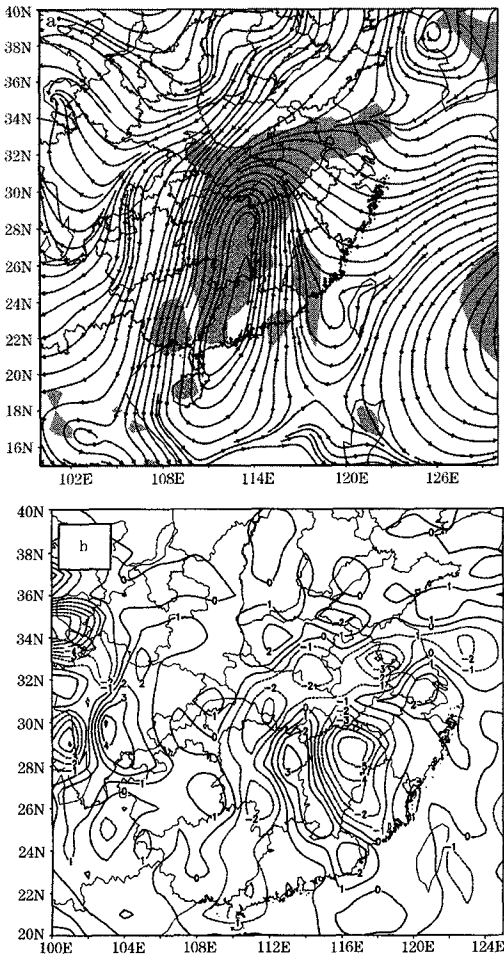


图 4 2005 年 9 月 3 日 14 时 850hPa 流线和相对湿度 (a, 阴影区相对湿度大于 70%) 和水汽通量散度 (b, 单位:  $10^{-7} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

度大的区域。在台风低压减弱期 (3 日 14 时), 来自东部海洋的水汽有所减弱, 水汽通量极大值减小为  $20 \text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  (图略), 其相对湿度仍维持在 90% 以上。在相应的水汽通量散度水平分布图上 (图 4b), 安徽中南部、湖北东部、江西大部为水汽通量的辐合区, 水汽通量散度辐合中心为  $-5 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 主要位于江西北部。可见, 在台风低压维持期间, 偏东风水汽输送带的稳定维持, 不仅有

利于台风低压长时间活跃, 而且在台风低压及其北部产生深厚湿层和强烈水汽辐合, 从而导致层结不稳定性增强和不稳定能量的积累, 为暴雨发展提供能量条件。

### 3 与冷空气结合的分析

#### 3.1 冷空气的侵入

在台风低压抵达赣西北并准静止稳定期间, 从华北平原南部有较明显的冷空气扩散南下, 从 850hPa 以下低层侵入台风环流。

从 925hPa 等压面上 24 小时变温来看 (图 5a), 2 日 20 时, 中纬度地区的冷空气进入华北南部到黄淮一带, 负变温大值区呈东西向分布, 负变温中心达  $-7^{\circ}\text{C}$ 。江西西部也出现弱的负变温, 表明低层已有冷空气侵入台风低压环流。3 日 14 时, 负变温区南移至淮河一带, 最大变温为  $-6^{\circ}\text{C}$ 。此后冷锋主体南下向台风低压北部靠近。到了 3 日 20 时, 负变温区进一步南下到长江下游一带, 尔后东移减弱, 台风低压也随之快速消亡。

从 9 月 3 日 14 时 925hPa  $\theta_{\text{e}}$  水平分布 (图 5b) 来看, 华东地区为一条南北向的  $\theta_{\text{e}}$  高值区, 由于能量从东南部海上源源不断向大陆输送, 使得高能舌在暴雨过程期间持续。黄淮地区为  $\theta_{\text{e}}$  低值区, 最小值 210K。并随着冷空气不断南移, 江淮到湘赣交界一带的能量锋区加强。3 日 14 时, 江淮  $\theta_{\text{e}}$  梯度达最大。4 日 08 时, 冷空气南下减弱, 能量锋区遭破坏, 台风低压消亡 (图略)。分析表明, 能量锋区与这次暴雨过程后期降水强度有明显关系, 能量锋区越强, 降水量越大, 暴雨落区与大  $\theta_{\text{e}}$  梯度有较好对应关系。

垂直剖面分析发现 (图略), 本次异常大暴雨过程与低层冷空气有关, 冷空气侵入暖湿气流底部, 形成冷垫, 使得台风低压中的暖湿气流在冷空气上滑行, 冷暖空气的交汇使能量锋区得以加强和维持, 有利于降水

长时间持续发生。

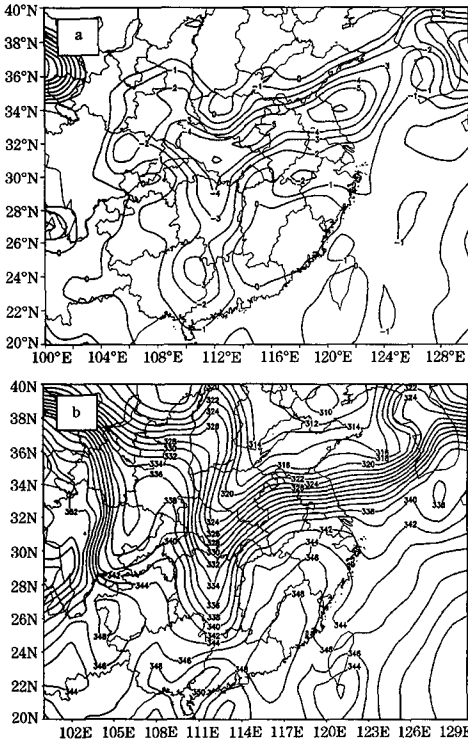


图 5 2005 年 9 月 3 日 14 时 925hPa 24 小时变温 (a, 单位: °C) 和  $q_w$  水平分布 (b, 单位: K)

### 3.2 低层两股气流的作用

从 925hPa 流场来看, 在台风低压进入赣西北后 (2 日 20 时), 低层流场上出现明显的两支气流的辐合。台风低压北部的东北气流引导中纬度冷空气向偏南方向扩散, 而其东侧另一支偏东南气流将东海和南海北部暖湿空气向台风低压中输入, 两支气流在台风低压及其北部形成明显的低层辐合。在台风低压后期 (图略), 来自中纬度地区台风低压北部的东北气流不断向南推进, 但随着冷空气东移减弱, 风速有所减小, 同时来自低纬洋面的东南气流也明显减弱, 使得两支气流的辐合减弱。可见, 低层两支偏东气流的汇合对台风低压的维持起着重要作用, 一方面偏东气流有利于暴雨区持续水汽供应, 另一方面东北气流南移有利于斜压能量补

充, 使台风低压能维持不衰。从 500hPa 总能量计算结果 (图略) 可看到, 台风低压与 500hPa 高能区有很好对应关系, 暴雨区位于高能舌梯度大值区附近。

### 4 地形对降雨的增幅作用

图 6a 是这次强暴雨过程的落区分布及地形高度。在图中, 强暴雨主要发生在大别

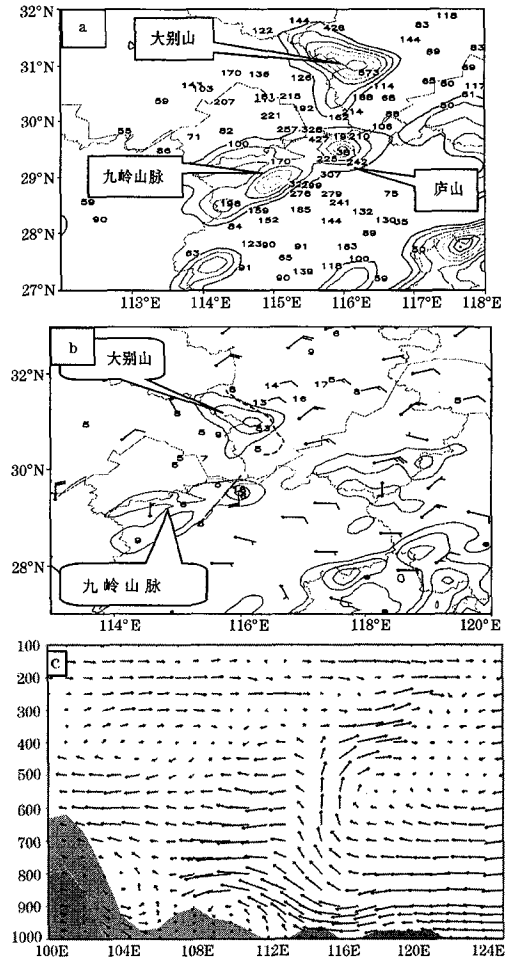


图 6 (a) 台风泰利降水与地形高度 (等值线为地形高度, 最外圈 300m, 间隔 100m); (b) 2005 年 9 月 3 日 02 时地面风场和 1 小时降雨量; (c) 水平风速  $u$  和 10 倍垂直速度  $w$  合成的纬向垂直环流

山及庐山九岭山脉东侧的迎风坡上和两山之间的长江峡谷地带,该地过程雨量较其它地区相差 2~3 倍,显示出地形对降水的增幅作用十分显著。逐时自动雨量站观测表明(图 6b),位于庐山、大别山一带局地有环形开口特征的迎风坡上常常有强中尺度雨团发生,1 小时雨量可超过 50mm。由于地形迎风坡及长江峡谷地带对边界层气流有明显辐合抬升作用,使得强雨团常在这些地区重复发生发展,有时可停滞约 3~6 小时。雨团的发生与地面中尺度切变线或辐合线相联系,由于气流也绕山地作气旋性弯曲,形成地形切变线或辐合线,可导致对流云团急剧加强。分析显示,降水的加强与偏东风的加强是一致的,入口区偏东气流与山地地形呈正交状态,常在这些地区产生准定常的边界层辐合,从而产生强上升运动(图 6c),有利于强降雨产生。

## 5 结 论

本文利用地面加密观测资料和 NCEP 再分析资料,对 2005 年 9 月 2—4 日 0513 号台风泰利进入江西减弱为低气压所造成的异常强暴雨过程进行了综合分析,得到如下一些主要结果。

(1) 本次江西、安徽和湖北等地的强暴雨过程是台风低压在赣西北长时间停滞少动、偏东气流充足的水汽供应以及有利的大别山和庐山九岭山脉地形条件下产生的,台风低压、西风带东北气流和东南气流是造成异常强暴雨的主要天气系统。

(2) 华西地区大陆高压阻挡台风低压环流西移,弱环境流场的配置为台风低压长时间停滞提供了良好的背景条件;低层偏东气流稳定的水汽输送及其中纬度冷锋前部的东

北气流与来自低纬海洋上的东南气流明显的辐合有利于强暴雨过程的持续发展。

(3) 进入赣西北台风泰利减弱的低气压北侧有明显冷空气侵入,致使行星边界层能量锋区加强;异常强暴雨主要发生在大别山东麓与庐山九岭山脉迎风坡上,地形抬升对暴雨增幅有明显的作用。

## 参考文献

- 1 刘还珠. 台风暴雨天气预报的现状和展望. 气象, 1998, 24 (7): 5~9.
- 2 郑峰. 一次热带风暴外围特大暴雨分析. 气象, 2004, 31 (4): 77~80.
- 3 赵宇, 杨晓霞, 孙兴池. 影响山东的台风暴雨天气的湿位涡诊断分析. 气象, 2000, 30 (4): 15~20.
- 4 解以扬, 徐祥德. 台风暴雨次天气系统影响因素及扰动传播路径. 气象, 1993, 19 (2): 9~12.
- 5 游景炎, 胡欣, 杜青文. 9608 台风低压外围暴雨中尺度分析. 气象, 1998, 24 (10): 14~19.
- 6 陶祖钰, 田伯军, 黄伟. 9216 号台风登陆后的不对称结构和暴雨. 热带气象学报, 1994, 10 (1): 69~77.
- 7 黄文根, 邓北胜, 熊廷南. 一次台风暴雨的初步分析. 应用气象学报, 1997, 8 (2): 247~251.
- 8 励申申, 寿绍文. 登陆台风维持和暴雨增幅实例的能量学分析. 南京气象学院学报, 1995, 18 (3): 383~388.
- 9 丁治英, 陈久康. 有效能量和冷空气活动与台风暴雨增幅的研究. 热带气象学报, 1995, 11 (1): 80~85.
- 10 张兴强, 孙兴池, 丁治英. 远距离台风暴雨的正/斜压不稳定. 南京气象学院学报, 2005, 28 (1): 78~85.
- 11 郑庆林, 吴军. 地形对 9216 号台风暴雨增幅影响的数值研究. 南京气象学院学报, 1996, 19 (1): 8~17.
- 12 黎清才, 王成恕, 曹钢锋. 登陆北上台风暴雨突发性增强的一种机制研究. 大气科学, 1998, 22 (2): 199~206.
- 13 丁治英, 陈久康. 台风中- $\alpha$  尺度中力惯性波的发展与暴雨增幅. 热带气象学报, 1996, 12 (4): 333~340.