

热带气旋远距离暴雨过程的诊断分析

张少林¹ 龚佃利² 陈晓红³ 朱君鉴¹

(1. 山东省气象中心, 济南 250031; 2. 山东省气象科学研究所
3. 安徽省气象台)

提 要: 利用天气实况和 NCEP 再分析资料, 对 2004 年 8 月 26—28 日山东大暴雨过程进行了客观分析。结果表明, 0418 号热带气旋在福建沿海登陆后, 其北伸倒槽与西风带弱冷空气结合造成了本次大暴雨过程, 具有明显的中低纬系统相互作用特征。伴随登陆热带气旋生成的低空东南急流为暴雨输送了丰富的热量和水汽, 成为联系中低纬度系统的纽带。西风带弱冷空气侵入台风北伸倒槽后, 在黄淮之间有明显的暖锋锋生特征, 是触发倒槽区域中尺度对流发展和暴雨产生的重要动力机制。暴雨与高能舌区具有很好的对应关系, 总能量分布对热带气旋远距离暴雨的落区具有很好的指示作用。

关键词: 热带气旋倒槽 低空急流 中低纬系统相互作用 大暴雨

Diagnostic Analysis of Heavy Rainfall to Distant Onland Tropical Cyclone

Zhang Shaolin¹ Gong Dianli² Chen Xiaohong³ Zhu Junjian¹

(1. Shandong Meteorological Center, Jinan 250031; 2. Shandong Meteorological Institute;
3. Anhui Meteorological Observatory)

Abstract: Based on the observational data and NCEP reanalysis data, the heavy rainfall event on 26—28 Aug 2004 in Shandong Province is diagnostically analyzed. The result shows that the event is caused by the interaction between 0418 tropical cyclone trough landed in Fujian Province and a weak cold front in the westerlies, it has obvious interacting characteristics be-

tween the two weather systems. The low-level southeast jet accompanying the tropical cyclone transports a plenty of heat and moisture for the event. It plays an important role in stimulating the convection that the weak cold air intrudes the area of the inverted trough, and conduce to warm frontogenesis, thus leading to the heavy storm. The heavy rain mainly distributed in the tongue area of high energy, the total energy is a key index to predict the rainfall area related to distant onland tropical cyclone.

Key Words: tropical cyclone trough low-level jet interaction between middle-and low-latitude systems heavy rainfall

引言

西北太平洋海面生成的热带气旋在我国登陆后与中纬度西风带系统结合,常常是造成我国北方夏季强降水过程的重要天气形势,有关中低纬系统相互作用产生暴雨的机制正成为热带气旋研究的重点^[1,2]。朱洪岩^[3]等通过对 9406 号台风暴雨模拟,分析了台风和西风槽相互影响形成台风远距离降水的过程,指出一方面台风强度影响了东侧的东南急流向中纬度槽前的水汽输送,另一方面中纬度西风槽前提供了有利于台风远距离降水的大尺度背景场。朱官忠等在“登陆北上热带气旋的特大暴雨落区探讨”一文的分析中,指出了北方暴雨落区与热带气旋倒槽的关系^[4]。郑峰^[5]分析在南海登陆的 9909 热带风暴时指出,北伸倒槽内暖湿切变线的中尺度对流云团是引起特大暴雨的重要条件。据统计^[6,7],每年登陆北上直接影响山东的热带气旋并不多,而热带气旋外围或登陆减弱后的低压环流,常常与中纬度系统结合,并可造成山东夏季不同程度的降水。2004 年 8 月 26—28 日,在山东中西部出现的暴雨过程就是一次中低纬度系统相互作用的结果,也是该年雨季最大一场暴雨过程。文献 [8] 指出,进入广东省后的热带气旋造成山东暴雨几率非常小,仅为 11.1%,对此类热带气旋造成的北方暴雨分析研究并不太多,为此我们对此次过程进行

了分析,以寻找对实际预报工作有指示意义的信息。

本文利用 NCEP 再分析资料和高空地面观测实况资料,对本次大暴雨形成的原因进行了诊断分析。使用的 NCEP 再分析资料水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,垂直方向 21 层,分别为 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100 hPa,时间分辨率为 6 h,利用 MM5 的 RAWINS 程序和高空、地面实测资料进一步对 NCEP 数据进行订正,并利用客观分析方法插值得到东亚范围 54 km 格距的格点数据,以便提高资料分析的精度。

1 天气概况

2004 年 8 月 26 日夜间到 28 日上午,在鲁西南、鲁中山区及鲁北地区出现了当年最大的一场大暴雨过程,全省共有 72 个县(市、区)过程降水量超过 50mm,有 19 个超过 100mm,全省过程平均降雨量为 65.7mm;大暴雨中心出现在济宁市金乡站,为 210.0mm。

从雨量的时空分布、云图和天气形势分析看,此次大暴雨过程可分为两个阶段。26 日夜间到 27 日 20 时的降水是由在福建西南部登陆的 0418 号热带气旋向西南移动进入广东后,由向北伸展的倒槽造成的,降水出现在鲁南和鲁中南部;27 日 20 时到 28 日

的降水，则是由热带气旋倒槽与西风带低槽相结合造成的。两个阶段的降水有着明显差异，前段的相对较小，出现个别的暴雨；而大范围暴雨和部分区域的大暴雨出现在27日20时以后，与中低纬度系统结合的时间相吻合。

2 产生大暴雨的环流背景和降水系统

本次大暴雨过程发生前，西北太平洋副热带高压（以下简称副高）位置偏北，呈东西向带状分布，与120°E相交的脊线位于32°N附近。0418号热带气旋移到台湾东北部海面后，向西北移动绕过台湾折向西南方向移动，在福建西南部登陆，而后继续向西略偏南移动。由于热带气旋和西风槽共同作用迫使副高断开，大陆一环逐渐减弱。图1a给出了8月26日20时500hPa环流形势，可见，本次过程与其它暴雨过程不同，并不是副高强大且稳定在华东沿海，即山东处于588dagpm线北部边缘。而是副高相对偏弱，584dagpm线构成的一条东西向高压带，其北缘位于鲁苏两省交界处。山东处于西风带槽前和副高之间的西南气流控制之下。相应的700hPa，850hPa图上，此前控制山东的反气旋环流逐渐减弱，热带气旋倒槽北伸到鲁西南地区（图1b）。同时从中纬度分裂南下的冷空气与倒槽的偏南气流结合，导致豫东、鲁西南地区降水产生，随着倒槽的北伸和冷空气的进一步侵入，降水中心向东北方向移动，导致鲁西南、鲁中和鲁北地区暴雨的产生。可见，这种中低纬系统的相互作用，在本次大暴雨中发挥了重要作用。另外，从暴雨分布看，暴雨中心位于鲁中山区和鲁西南平原交界处的金乡附近，这与当地的特殊地形有一定的关系，热带气旋倒槽移到此处时，槽后的东南气流受东南-西北走向的蒙山、尼山及准东西走向的泰山的影响，使气旋性环流加强，有利于上升运动进一步加强，促使暴雨增幅。

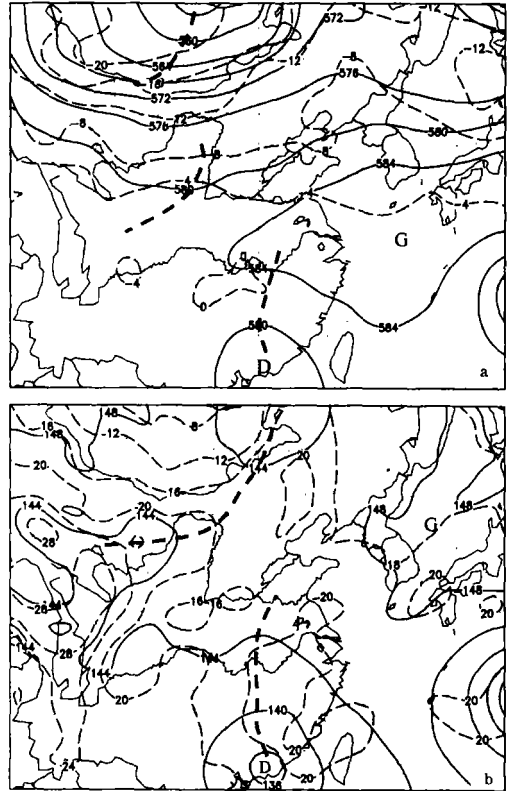


图1 2004年8月26日20时500hPa (a) 和850hPa (b) 环流形势图

实线为等高线，单位：dagpm；虚线为等温线，单位：°C；粗断线为槽线

3 大暴雨成因

3.1 低空东南急流的作用

0418号热带气旋登陆后，其东北侧副高边缘的气压梯度加大，华东地区上空东南气流迅速加强，26日20时，低空急流前锋抵达淮河流域。图2给出了27日08时850hPa水汽通量图，可以看到，来自东海的水汽通量轴线达到鲁西南地区。山东大部出现明显的水汽辐合，暴雨区水汽通量散度小于 $-5 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。可见，低空东南急流将大量的暖湿空气源源不断地输送到暴雨区，为大暴雨的产生提供了充沛的水汽条件。同时，由于风向风速的辐

合,有利于在倒槽前部形成强烈而持久的上升运动,从而激发暴雨的产生。低空东南急流的建立、北伸并与中纬度冷空气的辐合过程,充分表明了该急流在中低纬系统相互作用的纽带作用。

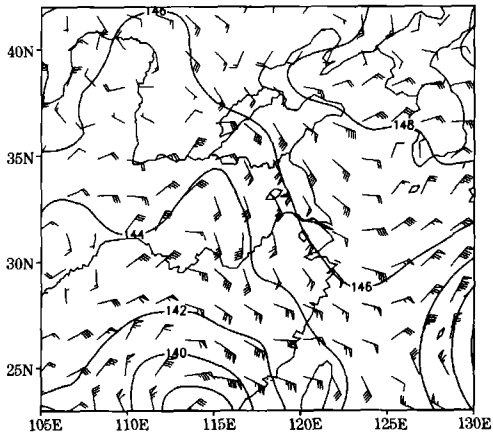


图 2 2004 年 8 月 27 日 08 时 850hPa 高度场和水汽通量

风向杆表示水汽通量,长杆数值为 4;等值线为位势高度,单位: dagpm

3.2 大气总能量

台风是一个最典型的深厚高能系统^[9],台风暴雨是系统能量的一个积累和释放过程。分别计算了 0418 号登陆热带气旋影响山东前后各时次的对流层中低层大气总能量。分析暴雨发生前总温度分布可以发现,在 500hPa 图上,自热带气旋中心东北侧到山东中西部为一条近似南北走向的高能舌(图 3),对应低空东南急流左前方,其轴线位于高能中心经汉口到济南一线,高能舌两侧的低能区也十分明显。随着西风槽引领的冷空气的侵入,影响山东的高能区与热带气旋中心的高能区逐步断开,并向东移动,出现两个中心,意味着能量输送被切断;28 日 08 时,高能舌明显变宽,强度减弱,降水也逐渐结束。

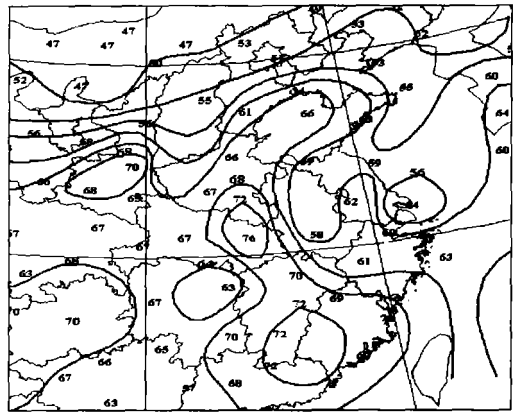


图 3 2004 年 8 月 26 日 20 时 500hPa 总温度(单位为)

从降水分布看,暴雨区主要出现在热带气旋前方的高能舌区内,两侧为低能区,有利于 0418 热带气旋高能空气不断地向高能舌区汇合,对应水汽辐合上升区,其两侧为辐散下沉区,暴雨中心出现在高能舌区,这与过去的多个个例分析研究结果吻合^[10]。另外,对流层低层(500hPa 以下)的各层大气总温度分布与 500hPa 上有相似的结构,且表现得更为明显,这进一步说明了热带气旋是一个深厚的高温高湿系统,也充分说明了热带气旋远距离暴雨是水汽、能量条件不同的中低纬系统相互作用的结果。

3.3 中低纬系统的相互作用

本次大暴雨第二阶段降水由于西风带弱冷空气与热带气旋倒槽相结合造成的,与其它热带气旋北上形成倒槽产生暴雨不同,本次过程发生在热带气旋远距离倒槽形成后,西风槽携带弱冷空气南下进入倒槽形成温带气旋所致。由图 4 给出的 27 日 08 时 925hPa 温压场配置可见,在倒槽附近的黄淮地区温度梯度较大,倒槽东侧东南风与等温线几乎正交,随着东南气流加强,倒槽顶部的暖平流十分明显,具有明显的暖锋锋生作用。

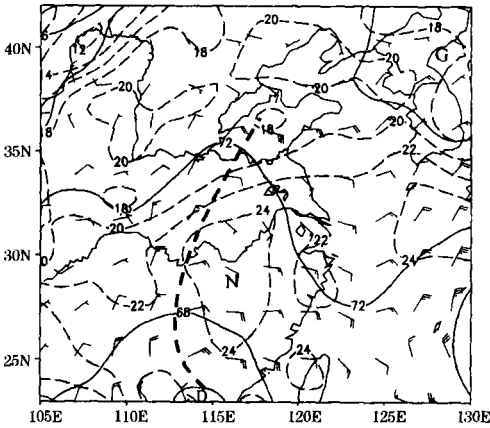


图 4 2004 年 8 月 27 日 08 时 925hPa 实况天气图
实线为等位势高度线，单位为 dagpm，虚线为等温线

图 5 给出了大暴雨中心济宁金乡站暴雨前后垂直风场、湿度场演变，可见，27 日 14 时，对流层低层风向由东南风逐步转为偏北风，而对流层中高层始终维持西南风，受倒槽风切变中心影响时，地面降水最强，如金乡站 27 日 14—20 时 6h 降水量达到 97mm。另外，与倒槽对应的湿度分布表明，暴雨发生前，低层湿度迅速增加，降水最强阶段，比湿大值中心伸展的高度达到 700hPa，但总体看，倒槽主要在对流层低层明显，其与西风带弱冷空气的相互作用也主要表现在低层，500hPa 以上并不明显。

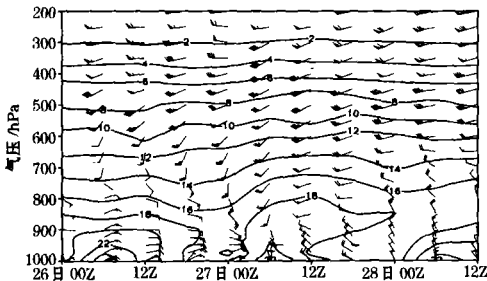


图 5 2004 年 8 月 26 日 08 时—28 日 20 时金乡站
垂直风场和比湿场时间-高度剖面图
比湿单位为 $g \cdot kg^{-1}$ ，风向杆长刻度为 $4m \cdot s^{-1}$

4 小 结

(1) 伴随着热带气旋生成的低空东南急流是中低纬度系统相互作用的纽带。持续的低层暖湿空气向暴雨区的输送和辐合，为大暴雨的产生提供了充沛的水汽输送和层结不稳定条件。

(2) 来自低纬热带气旋系统的暖湿气流与来自中纬度西风槽的弱冷空气主要在对流层低层相互作用，具有明显的暖锋锋生特征。弱冷空气的低层侵入对暖湿空气具有抬升作用，促使对流的发展和暴雨的产生。

(3) 暴雨主要分布在高能舌区内，这对预报热带气旋远距离暴雨落区具有重要指示意义。

参考文献

- 1 雷小途，陈联寿. 热带气旋与中纬度环流系统相互作用的研究进展. 热带气象学报, 2001, 17 (4): 452 ~ 458.
- 2 雷小途，陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究. 气象学报, 2001, 59 (5): 602 ~ 612.
- 3 朱洪岩，陈联寿，徐祥德. 中低纬度环流系统的相互作用及其暴雨特征的模拟研究. 大气科学, 2000, 24 (5): 669 ~ 675.
- 4 朱官忠，赵从兰. 登陆北上热带气旋的特大暴雨落区探讨. 气象, 1998, (11): 16 ~ 21.
- 5 郑峰. 一次热带风暴外围特大暴雨分析. 气象, 2005, (4): 77 ~ 80.
- 6 曹钢锋，张善君，朱官忠等. 山东天气分析与预报. 北京：气象出版社，1988.
- 7 张少林，盖世民，顾润源等. 造成我国北方暴雨的热带气旋天气学特征分析. 海洋预报, 2001, (1): 40 ~ 47.
- 8 张少林，顾润源，邹树峰等. 导致北方暴雨的热带气旋的气候特征. 大气科学研究与应用, 2002, (2): 111 ~ 113.
- 9 雷雨顺. 能量天气学. 北京：气象出版社，1986.
- 10 张少林，顾润源. 登陆北上影响山东的 9216 号强热带风暴. 气象, 1993, (10): 29 ~ 32.