

上海“0185”特大暴雨的 MCS 形成条件分析

陈永林

(上海中心气象台, 200030)

提 要

在分析影响系统的基础上, 结合 GMS-5 卫星云图、WSR-88D 雷达资料对 2001 年 8 月 5 日夜间上海城市特大暴雨作了初步剖析。分析发现, 中尺度对流系统 (MCS) 更替发展加强是产生强降水的直接原因; 有利的环流背景导致了中尺度对流系统 (MCS) 的产生和稳定少动; 上海三面环水的特殊地理条件为中尺度对流系统提供了充足的水汽。

关键词: 热带低压 暖切变 MCS 特大暴雨

1 天气概况

2001 年 8 月 5 日 19~20 时上海市的大部分地区出现雷阵雨。5 日 20 时~6 日 1 时和 6~8 时市区发生持续的强雷雨, 徐家汇 12 小时雨量达 264mm, 1 小时最大雨量 75mm, 6 日早晨浦东地区还发生了龙卷风。24 小时全市雨量以黄浦区 294mm 为最大、其次徐家汇 275mm、浦东北蔡 277mm、南汇周浦 272mm。从日雨量来看, 这次特强降水过程是近 50 年来市区 (徐家汇) 最大的一次。

2 副热带高压及引导气流

2.1 副高强大 引导低压闽北登陆

从副高演变的时间序列看, 8 月 3 日 20 时是副高最强盛的时刻, 日本九州出现 5990gpm, 588 线几乎包围整个西北太平洋及我国的绝大部分地区, 为近年所少见。由于副高中心值高达 5990gpm, 在副高边缘存在着很大的气压梯度, 闽、浙地区 500hPa 高度上的东南风速为 $4\sim 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。4 日副高中心虽然减弱了 30gpm, 但由于副高中心向长崎海域摆动, 对华东中南部沿海的气压梯度影响不大, 浙江沿海的东南风速仍达 $16\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。受其引导, 热带低压于 4 日早晨在闽北登陆后快速向皖南地区移动。

2.2 副高减弱 低压向上海移动

5 日上午, 热带低压已进入皖南地区, 向东北方移动。这时的日本九州副高中心处于迅速减弱中, 相反, 我国东南地区的高度场却几乎没有变化, 在广东出现与日本九州强度相当的 5930gpm 分裂高压中心, 使长江流域到日本一带的气流发生非常明显的改变, 由原来的西南气流演变为偏西气流 (图略)。因此, 当热带低压在皖南拐弯后, 没有向苏北运动, 而被引导偏向上海市移动。

3 热带低压

3.1 移动路径

热带低压于 7 月 31 日在关岛以北洋面上脱离母体云带后形成独立的热带云团。随后以蛇形路径快速向西北偏西方向移动, 3 日 20 时登陆台湾, 4 日 08 时登陆闽北。登陆大陆后转向西北偏北移动。5 日 02 时在黄山附近折向东北偏东移动, 6 日 02 时经长江口 (崇明岛中部) 进入黄海南部, 8 日在日本海融入西风槽 (见图 1)。

3.2 强度变化

热带低压在登陆台湾时才首次出现闭合环流。根据热带系统登陆后在中空表现最为清晰的特性和系统后部风速不易受环境场影响之特点, 本文采用 700 hPa 低压中心西南

侧风速和位势高度差变化来分析其强弱变化。

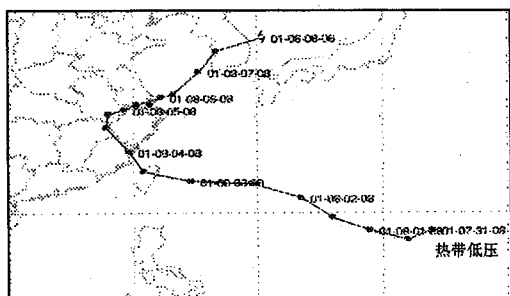


图1 2001年7月31日~8月8日热带低压路径图

4日08时在热带低压刚登陆闽北时,中心西南侧最低与最高位势高度差为20gpm,中心西南侧近中心最大风速 $4\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;4日20时风速仍为 $4\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,位势高度差30gpm;5日08时风速增强至 $8\sim 14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,位势高度差40gpm;5日20时风速继续增强到 $10\sim 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,位势高度差40gpm。另外,地面要素显示风速增大而气压场下降(图略)。可见,低压在闽、赣地区的西北运行过程中基本维持弱势状态,在转向ENE移动过程中增强趋势明显,在长江三角洲达到最强。

3.2.1 西风槽切入 涡度增大

当热带低压于4日早晨在闽北登陆时,位于华东北部到西南地区的西风槽出现减弱趋势,中段云系逐渐断裂(长江中上游),北段的尾部云系于4日20时开始进入热带低压中。表现在500hPa涡度图上,3日20时位于湖北东部、安徽和江苏中北部的正涡度区,于4日20时融入到了热带低压的正涡度区域之中,使热带低压的动能有了明显的增大,为5日夜间上海MCS的形成发展创造了重要条件。

3.2.2 南风急流使水汽增加

自热带低压在关岛以北洋面上生成至影响上海,在华东中南部沿海均维持着强盛的偏南急流。3日,日本九州500hPa高度达5990gpm,5日副高中心强度虽然有所减弱,但中心位置西摆至长崎海域,因此闽、浙沿海仍维持较强的气压梯度。500hPa高度上,

上海、杭州、大陈4~5日4个时次的平均风速为 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,其中4日08时杭州达 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。说明热带低压自登陆至入海,始终与东海水汽相连,热带低压体内水汽丰富,其所经之处,局部降暴雨。

4 中尺度对流系统(MCS)分析

4.1 MCS生成在暖切变减速滞留阶段

由于热带低压前方是西北太平洋副热带高压的主体环流,在沿海地区存在一支SSE强风,使热带低压在东移中受其阻挡而出现W风与SSE风的暖式切变,并且在切变线附近发展对流云团。当切变线移速减缓后,切变线前方的对流旺盛地发展起来,最终形成强大的中尺度对流系统(MCS)。图2是5日08时至6日02时地面切变线动态图。在图中可以看到,7条切变线的分布具有明显的不连续性,结合云团演变情况看:11~14时和23~02时切变线跳跃前进时,正是云团的松散阶段和MCS的减弱阶段;而14~23时切变线减速滞留阶段,正是对流发展最旺盛的阶段,特别是20~24时是MCS从形成到成熟阶段。可见,MCS的发生、发展与地面热带低压右下方暖切变减速滞留完全一致。另外,由于切变线尾部位于副高脊

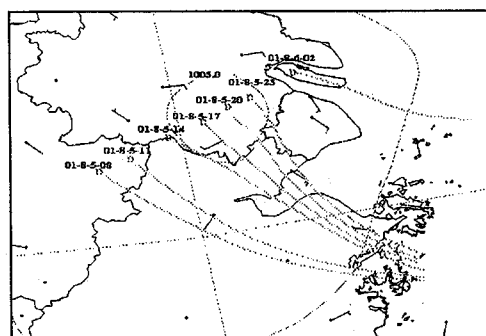


图2 5日08时~6日02时地面
低压中心和切变线动态

线附近,受副高的阻挡力大于低压中心部位,14~23时切变线尾部几乎没有移动,因此MCS移速慢于热带低压。

4.1.1 MCS的形成过程

在5日19时的卫星云图上,淀山湖和松江地区首先出现云顶温度为 -67°C 的对流

云团 (参照封三图)^[1]。20 时, 松江云团减弱, 而淀山湖云团迅速发展, 成为 MCS 核; 21 时, 云团减弱东移到上海市区, 云顶温度上升到 -61°C ; 23 时, 云团稍有东移, 强度发展, 云顶温度下降至 -72°C ; 6 日 00 时, 云团在原地迅速向左右前后铺开, 云顶温度下降到 -75°C , 为本次过程极值, MCS 发展成熟; 6 日 01 时, 云团缓慢东移, 范围继续扩大, 强度略有减弱, 云顶温度上升到 -71°C ; 03 时, 云团减弱东移, -67°C 以下的核心区域移出市区; 04 时, 随着第一个 MCS 趋向消亡、入海, 在金山石化和嘉定地区分别形成 -70°C 和 -64°C 的新对流核, 即第二个 MCS 得到新生; 06 时, 两块对流核在上海东部合并, 最强云顶温度为 -67°C ; 07 时, 云团减弱, 云顶温度上升到 -63°C , 并且在途经浦东新区时, 其中的一个对流单体导致了龙卷风的发生。08 时, 对流核心部位移出上海。

由以上分析可知, 5 日夜间上海地区遭受了 MCS 的更替影响, 前一个 MCS 的对流核减弱东移后, 在原 MCS 对流体内又有对流核新生, 使 MCS 具有向后传播的特征。第一个 MCS 从 5 日 19 时开始生成, 到 6 日 04 时东移至海面上减弱, 历时 10 个小时, 其中 20~01 时市区 (徐家汇) 雨量

150mm; 后一个从 6 日 04 时开始在金山石化和嘉定地区分别形成新的对流核, 05 时合并形成复合体, 到 08 时减弱东移到长江口外, 历时 5 个小时, 其中 06~08 时市区雨量 65mm, 两个 MCS 在市区降水 264mm。

4.1.2 多条回波向上海城区辐合

在卫星云图上云团合并的后期, 在雷达回波动态图上表现为多条回波在上海城区辐合。5 日 18 时 03 分, 圆形空心回波区 (热带低压中心) 首先出现在太湖北部地区, 同时在低压中心右下方淀山湖地区开始形成低压螺旋回波; 21 时 28 分, 低压中心内螺旋回波开始发展, 同时在 30km 以外形成外螺旋回波。由于低压位于上海西北, 回波必然以长轴移经上海地区。这些不同部位的螺旋回波在回绕低压中心运动时, 还随低压一起向东移动, 更由于沿海地区为稳定的 SSE 气流, 阻挡了回波的继续向前运动。最后导致多条回波在上海城区辐合。表现在 6 日 00 时 17 分的基本反射率回波图上为三条回波向上海辐合 (见图 4 左, 原点西北强回波); 在基本径向速度回波图上, 上海城区和浦东地区则为 7 级大风圈所包围的辐合区 (见图 4 右, 原点西北圆形强回波)。

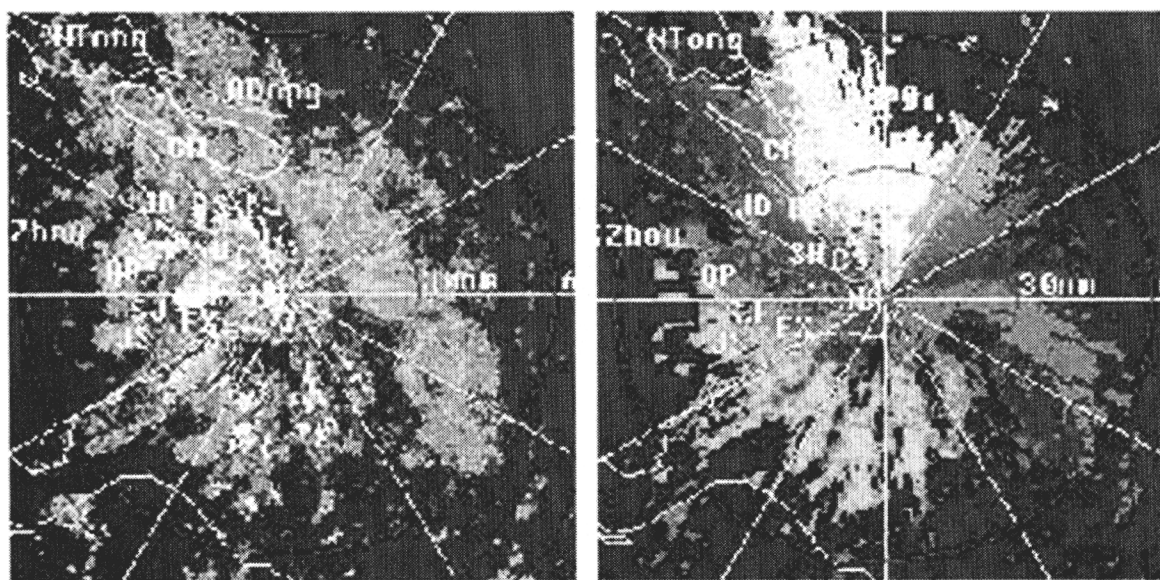


图4 6日0时17分基本反射率 (左)、基本径向速度回波 (右)

由以上分析可见, 由于多条回波在上海城区辐合并以长轴方式驶过上海城区, 从而

导致了上海市区几乎一整夜的强雷雨。

4.2 MCS 生成的环境和地理条件

热带低压自登陆西进,至东移入海消亡的整个生命过程中,惟独在上海生成的 MCS 更替生消生命期长。这是否与上海北靠长江、东临海面、南为杭州湾三面临水的特殊地理条件有关呢?

4.2.1 低压暖切变增强

当低压 5 日白天进入太湖北部地区时,暖切变附近的风速均有增大趋势,而且暖切变前部的 SSE 风自西向东递增。可见,低压暖切变辐合比在皖东有了明显的增强。

4.2.2 强劲의 SSE 风使地形锋区维持

夏季海岸线附近所特有的温度场分布为自陆地向海面递减,形成自然的地形锋区。这给 MCS 在市区生成、更替创造了优越的环境条件。在 5 日 20 时,925~500hPa 等压面图上,宝山测站为 S~SSE 风,而杭州测站为 W~WSW 风,两站温差 1~4℃。在地面图上,20 时宝山 27.6℃,佘山岛 26.8℃(位于崇明岛正东 20km 海面上),温差 0.8℃;6 日 02 时,宝山 25.9℃,佘山岛 22.8℃,温差 3℃。可见,在海岸线附近确实有锋区存在。

4.2.3 上海三面临水的水汽供给

本次特大暴雨发生时,热带低压位于太湖北部到崇明之间,MCS 形成于上海上空,它们始终与杭州湾、东海和长江口海面气流相连接。5 日夜间,上海南郊和上海东南方的海岛嵎泗(距上海市最近海岸线 60km)均保持着强劲的 SSE 风,长江口为东风气

流,水汽在市区产生强辐合,在它们的输送作用下,中尺度辐合系统内始终保持着充足的水汽。强对流云团得到水汽的补给,水汽上升凝结释放潜热,使得对流更旺。在反馈机制的作用下,MCS 才得以强烈地发展并长时间维持。

5 小结

①对于来自低纬地区不起眼的热带系统,它们携带的能量非常之大,一旦遇到适当的环境和触发条件,就有可能发展强对流天气。本次热带低压在移近上海时,在地面切变线的作用下,对流迅速发展,最终形成 MCS 系统。

②热带低压在接近上海时,东半圆辐合气流将杭州湾、长江口和东海的水汽源源不断地吸入低压体内,使 MCS 更替发展,前一个 MCS 的对流核减弱东移后,在原 MCS 对流体内部又新生对流核,使 MCS 具有向后传播的特征。

③MCS 形成在切变线的减速滞留阶段,而切变线尾部受副高的阻挡力大于热带低压中心部位。因此,MCS 的移动速度更慢于低压中心的移动,使 MCS 在上海城区少动,这是强雷雨长时间持续的一个重要原因。

④多条回波在上海城区辐合,并以长轴方式驶过上海城区,是导致了上海城区长时间持续强雷雨的另一个重要原因。

参考文献

- 1 姚祖庆. 上海 0185 特大暴雨过程天气形势分析. 气象, 2002, 28 (1): 26~29.

Analysis of MCS' Evolving Condition in 0185 Torrential Rainstorm of Shanghai

Chen Yonglin

(Shanghai Meteorology Center, 200030)

Abstract

Based on the weather pattern, combined with GMS-5 cloud image and WSR-88D radar data, primary analysis is given on the torrential rainstorm of Shanghai City during the night of August 5th 2001. It is found that MCS' continuously updating and developing is the direct cause of severe rainstorm; helpful circulation leads to MCS' formation and stabilization, special geographical condition of Shanghai, faced with water in three sides, provides MCS with plentiful water vapor.

Key Words: tropical depression warm shear MCS torrential rainstorm