

# 登陆热带气旋引发的龙卷 过程之个例分析

徐继业 姚祖庆

(上海中心气象台, 上海 200030)

## 提 要

将卫星云图与物理量场相结合,对 9909 号热带风暴(WENDY)登陆北上并与西风带系统相互作用,引发上海东南部地区龙卷天气的过程进行分析研究,发现中低纬度系统的相互作用使 WENDY 倒槽得以维持和发展,并对 WENDY 残存低压长时间存在并北上起重要作用。当 WENDY 低压北上与西风带系统相接、叠加时,高层辐散、低层辐合的良好环境使 WENDY 环流内的对流云团进一步加强发展。中尺度干涌的涌入促使强对流云团群合并发展,并加剧对流辐合体内水平风切变,最终导致龙卷产生。

关键词: 热带风暴 中尺度干涌 龙卷

## 前 言

龙卷是风暴中最猛烈的天气系统,具有极大的破坏力,它很难预报,因此对龙卷发生、发展的研究很有必要。上海虽不算龙卷发生特别多的地区,但也不时有龙卷发生,给上海带来灾害。从 20 世纪 50 年代到 80 年代近 40 年间,上海有记录的龙卷 123 个,多数为弱到中等强度,但其中也有个别达到猛烈程度,甚至毁灭性程度。根据历史资料普查发现,造成重大损失的龙卷多发生在台风倒槽内。1999 年 9 月 6 日清晨,处在 9909 号热带风暴(以下称 WENDY)残存低压区内的上海松江、闵行、奉贤及南汇到浦东遭受龙卷袭击,特别是东面一个龙卷,几乎与浦东机场擦肩而过,虽未给机场造成损失,但其紧邻的机场镇却遭到较严重破坏。我们从这次过程卫星云图研究发现,WENDY 之所以在广东东部登陆后,其低压环流长时间维持,并在上海地区产生暴雨、龙卷天气,与 WENDY 具有很强的倒槽云系,且倒槽云系多次与西风带系统叠加有一定联系。从这一事实出发,我们将卫星云图与物理量场相结合,研究了这一过程中两系统的相互作用及结果,为今后这类天气预报积累了经验。

## 1 9909 号(WENDY)登陆热带风暴引发龙卷的天气过程

### 1.1 热带风暴路径及龙卷过程

图 1 给出 9909 号热带风暴的路径,该风暴于 9 月 3 日 08 时在马六甲海峡生成,向西北方向移动,4 日 3 时在广东省汕头登陆,以后风暴在北上过程中减弱为低压,此低压向东北方向移动,6 日 02 时至杭州附近,08 时移到太湖东面,14 时入黄海南部。

9 月 6 日早晨上海东南部发生龙卷(图略),龙卷于 6 日 6 时 15 分在松江县泗联生成,向东移动经闵行区到南汇县周浦,7 时 10 分消失;7 时 40 分又在奉贤县四团生成,向北经南汇县三灶、六灶、川沙县六团至三里湾入海,时间为 7 时 55 分。

### 1.2 高空环流形势

1999 年 9 月第一候,中高纬地区环流较平直,河套地区为低槽区,不断有冷空气东移,副热带高压伸向华东沿海地区,脊线维持在  $28^{\circ}\text{N}$  左右。当热带风暴在广东省汕头登陆后,副高西侧的偏南气流,引导热带风暴北上,同时,冷空气的不断南下,使中低纬系统得以不断相互作用。

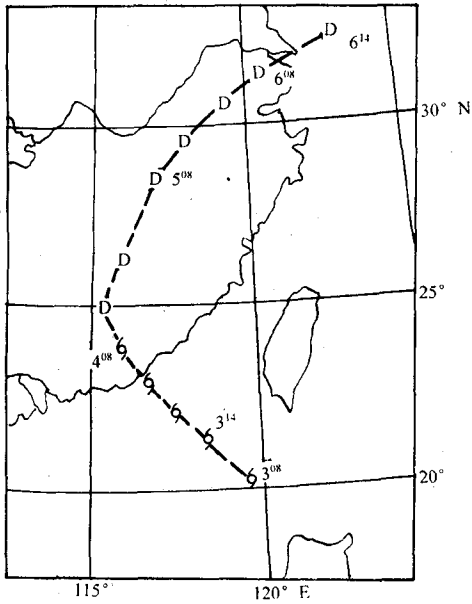


图1 1999年9月9909号热带风暴路径

## 2 9909(WENDY)热带风暴倒槽维持与发展的卫星云图与物理量场分析

### 2.1 倒槽云系非常明显是 WENDY 的突出特点

9月2日 WENDY 还未达到风暴强度,其中心位于 16°N、126°E 附近,它的倒槽云系已非常明显,从中心向北伸展有一千多公里,到达浙江中南部以东海面(图略),从9月2日08时低层散度场(图略)可看到,与倒槽云系相对应,也有一个强辐合带从巴士海峡北伸到黄海北部,说明与倒槽相应,低层确实存在着一大尺度辐合区,倒槽云系始终随 WENDY 西移、登陆北上。而低层辐合中心虽不断变化,但基本上与倒槽云系及西风带系统相对应, WENDY 向北伸展的倒槽云系,多次与西风带系统相遇。一些研究曾指出,如果有适度的冷空气侵入台风外围,加剧斜压不稳定,对台风的发展和降水都十分有利<sup>[1]</sup>, WENDY 后来的加强,倒槽内及倒槽与西风带系统相结合处对流的加强都说明了这一点,而这些又加剧了第二类条件不稳定的作用<sup>[2]</sup>,这也是 WENDY 低压及倒槽长时间维持的重要原因。

### 2.2 WENDY 倒槽云系多次与西风带系统

相结合

WENDY 登陆前和登陆后其倒槽云系分别各有二次与西风带系统相接,而每一次相接或结合,都使倒槽云系北端或倒槽内有较大范围强对流云团发生发展,对倒槽的维持、发展起到重要作用,对 WENDY 从热带低压发展成热带风暴也有一定作用。

9月5日上午,又一西风带涡状云系东移,第四次与倒槽云系接近,这在水汽图中特别明显(图略),这时 WENDY 沿倒槽云系北移到达江西中北部地区,其周围的对流云更趋于活跃,应用这一段时间的云图动画,在 WENDY 低压前方,从皖南到长江口区高层有明显辐散(图略),而在其西北方为辐合区。5日下午,该地区有强对流开始发展(图略),且逐渐向高层辐散区方向传递,到9月5日半夜,长江三角洲区内自北向南排列生成一串强对流云团,这时,从水汽图干湿区分布示意图上(图2)看到自皖南有一中尺度的干涌自西向东涌进,偏向太湖—南通一带,使正好移到长江三角洲地区的 WENDY 处在高层辐散和中尺度干涌前方加强的辐合作用下,促使其环流内对流强烈发展,其前方的这一串对流云不断新生并迅速发展合并,造成上海龙卷的强云团生成。

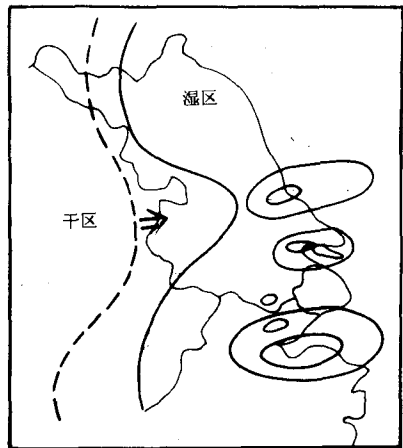


图2 水汽图干湿区分布示意图

### 3 上海地区发生龙卷的强对流云团发生发展分析

9月5日20时 WENDY 已移到浙江西北部,在上述有利的大尺度环境条件下,在它

向太湖方向移动时,9月5日23时在其前方沿 $120^{\circ}\text{E}$ 附近从南通到杭州生成南北向一串对流亮核,中心亮温达 $-61\sim-73^{\circ}\text{C}$ 。从9月6日02时至06时,上海龙卷发生前4小时里,这些中尺度对流云团经历了三次合并、新生、发展过程,每次合并后都使 $-73^{\circ}\text{C}$ 以下云区范围明显扩大,中心出现 $-90^{\circ}\text{C}$ 核心。图3(见封三)为9月6日01时至06时云图,9月6日01时,在 $30\sim 31^{\circ}\text{N}$ 沿 $120^{\circ}\text{E}$ 附近是南北排列A,B,C,D4个云块,中心亮核温度达到 $-73^{\circ}\text{C}$ 。D云团 $-73^{\circ}\text{C}$ 云团面积达 $105\times 85\text{km}^2$ ,到02时,A,B两云团合并成A+B云团,同时在D云块西侧新生成E云块,03时在E,C云块中间又新生F云块,中心亮核温度均达到 $-73^{\circ}\text{C}$ ,04时,C,D,E,F4云块合并成C+D+E+F半弧状云团, $-73^{\circ}\text{C}$ 云团面积达 $230\times 60\text{km}^2$ ,其中出现 $-90^{\circ}\text{C}$ 云核,同时,与A+B云团之间又新生出G云块。到05时,所有云块云团合并为A+B+C+D+E+F+G云团,其中出现多个 $-90^{\circ}\text{C}$ 云核,南半部发展成近圆形云团,直径达150km,后边界光滑清晰,以后在06~07时,随中尺度指状干涌沿 $31^{\circ}\text{E}$ 附近东顶时,整个云团北部加速东进,而南部光滑圆弧部分停滞后有向西退的趋势,其面积逐渐增大。这段时间正是上海发生龙卷时间,说明这段时间内,云团内南北向有强东—西风切变,而这一

切变的生成与中尺度干涌的出现紧密相连。

#### 4 结 论

通过对9909(WENDY)热带风暴登陆、北上引发上海龙卷过程的分析,我们获得如下观点:

(1)这次龙卷过程是由热带风暴残存低压与西风带系统相互作用造成的。

(2)中低纬系统的数次相接及叠加触发强对流发生,其中一些强对流最终发展成中尺度对流辐合体,从而为倒槽不断补充能量,对倒槽的维持、发展有重要作用。这又成为WENDY残存低压能长时间维持,最终沿倒槽向东北移到上海附近的基本条件。

(3)高层辐散、低层辐合的良好环境进一步加强WENDY环流内的对流云团发展。

(4)中尺度干涌的出现,对其前方对流云团不断新生、合并及发展起到重要作用。特别是当形成中尺度对流辐合体时,中尺度指状干涌从云团北部东移,促使中尺度对流辐合体内水平风切变的加剧,最终导致龙卷发生。

#### 参考文献

- 1 李崇银. 环境流场对台风发生发展的影响. 气象学报, 1983, 41(3): 275.
- 2 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 气象出版社, 1979: 190~191.

## A Case Analysis of Tornado Triggered by Landing Tropical Cyclone

Xu Jiye Yao Zuqing

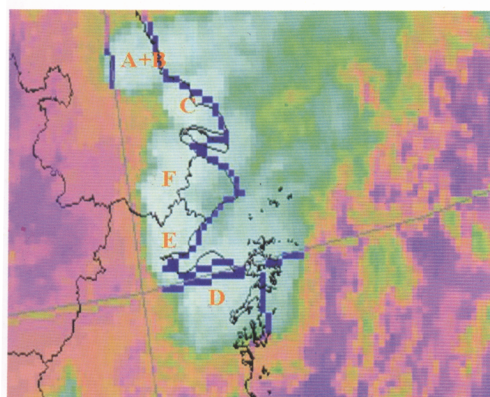
(Shanghai Meteorological Center, Shanghai 200030)

#### Abstract

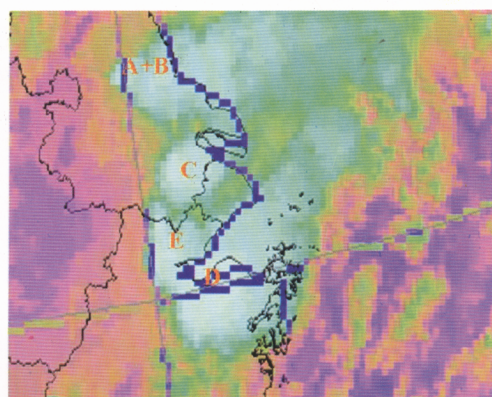
In early September 1999, a tropical storm (WENDY) landed, moved northeast, then interacted with the trough in mid-latitudes and finally, produced tornado in the southeastern Shanghai. Combined satellite cloud pictures with physical quantities, it is found that interaction of systems between middle and low latitude made WENDY inverted trough maintenance and development, also play an important role for WENDY moving to north. When WENDY connected with westerly system, good environment of higher level divergence and lower level convergence strengthened the development of convective cloud. East moving of the mesoscale dry surge intensified the horizontal wind shear, at last caused the tornado.

**Key Words:** tropical storm mesoscale dry surge tornado

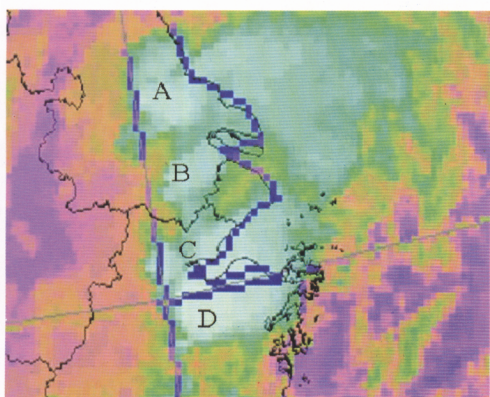
# 《登陆热带气旋引发的龙卷过程之个例分析》附图



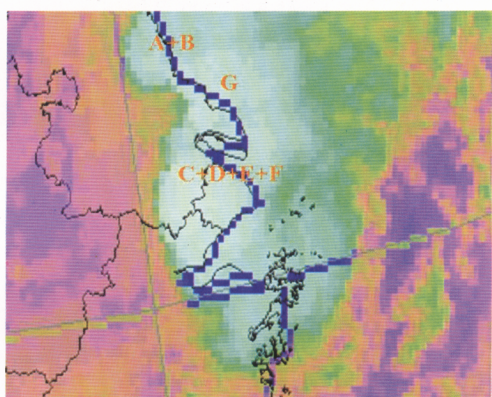
a 9月6日01时云图



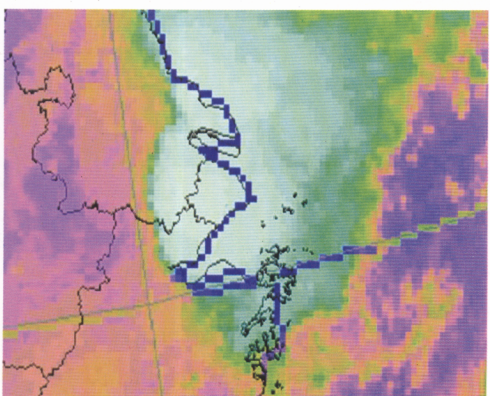
b 9月6日02时云图



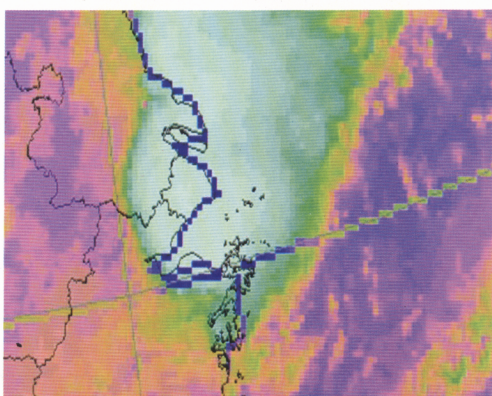
c 9月6日03时云图



d 9月6日04时云图



e 9月6日05时云图



f 9月6日06时云图

图3 1999年9月6日云图