

上海暴雨和强对流天气的地面观测分析*

肖稳安 周咏梅

(南京气象学院)

摘要 近年来,人们利用卫星、雷达和地面观测资料相结合的分析方法,得到了一些暴雨和强对流天气预报的经验。例如,姚祖庆、肖稳安等利用卫星云图资料概括出影响长江中下游暴雨和强对流天气的5种环境云场特征和在这些云场中暴雨和强对流云团的演变过程^(1,2),通过追踪这些云团活动来作暴雨和强对流天气的预报。杜秉玉等以雷达资料为主设计了长江三峡和荆江地区暴雨预报的临近预报系统⁽³⁾。文中利用上海地区稠密的地面观测资料,分析1983年9月3日、1985年7月11日、1983年7月26日影响上海的暴雨和龙卷天气过程中地面气象要素场和物理量场的先兆表现,期望从地面观测资料的变化特征提供暴雨和强对流天气预报的依据。

关键词 上海,暴雨,强对流天气,地面观测

1 温压场的演变和暴雨的发生发展

1983年9月3日09—21时,上海地区东南部普降暴雨。其中青浦、松江、奉贤、沙港、南汇、祝桥、太日等7站皆有1小时50毫米以上的强降水。在这次强降水天气发展中,温、压场有着明显的特征表现。

1.1 气压场

9月3日07时(图1A),暴雨出现以前,上海地区气压场分布呈南北高中间低的形势,大部分地区处在低压控制之下。1010.0百帕低压中心在东南部的南汇县境内,全上海只有微量降水记录。

从09时开始,地面气压值普遍上升,其中西北部气压上升比较显著。 $\overline{\Delta p_s}$ 上升0.6—1.1百帕。东南部上升慢, $\overline{\Delta p_s}$ 上升0.1百帕,仍为低压控制。使上海南北之间气压梯度加大,降水增加,主要降水增加区出现在上海县、川沙、南汇北部(图1B)以及南汇西南奉贤境内的等压线密集区。

从10时起,上海北半部加压区东移出海。整个地区气压出现持续下降的趋势,其中中南部降压明显,1010.0百帕中心向西延伸到松江,形成南汇、上海县、松江、青浦一直到江苏吴江县的一条东西向狭低压带(图1C)。结合同时的雨量分布(图1C中黑影区所示),低压区及等压线密集区与该日10时以后上海暴雨位置基本重合。在低压中心北侧的等压线密集区出现了一

* 国家自然科学基金资助项目
收稿日期:1991-11-12

小时降水量 54.3 毫米的暴雨中心。

19 时开始,气压开始回升,上海西部和北部上升更明显, Δp_s 均高出东南部 0.5—0.7 百帕以上,使上海西部再次被高压控制。南汇—吴江的低压带在青浦—松江之间有断裂的趋势,东部形成以南汇为中心的东南—西北向低压倒槽,低压范围缩小,强度降低。但在低压中心轴的东北和西南侧等压线变得很密集,气压梯度增大。1 小时降水大于 25 毫米的 12 个站,大于 50 毫米的一个站都集中在低压发展区和等压线密集区(见图 1D 中黑影区)。

1.2 温度场

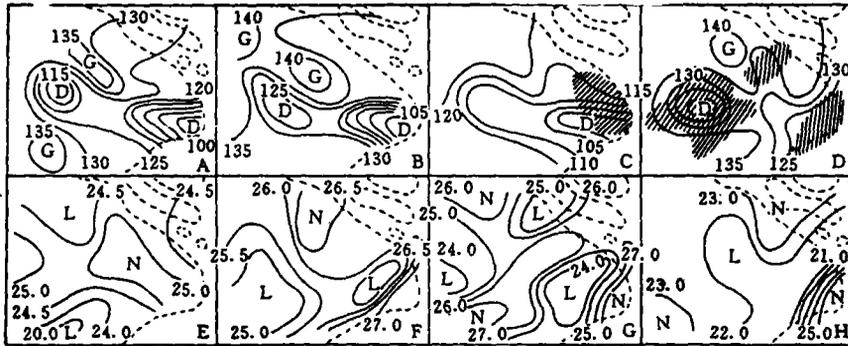


图 1 A—H1983 年 9 月 3 日 07 时,10,15,20 时地面气压场分析(A—D)和温度场分析
(单位:百帕和 $^{\circ}\text{C}$)

1983 年 9 月 3 日 07 时,上海近地面气温分布比较均匀等温线稀疏。一个东南—西北向的暖舌从南汇、上海县、上海市区、青浦、松江通过。与 04 时比较,暖舌内温度普遍升高了 0.4—0.5 $^{\circ}\text{C}$ 。而其东北和西南两侧地区增温小,约 0.2—0.3 $^{\circ}\text{C}$,尤其是西南的嘉兴还出现了约 0.7 $^{\circ}\text{C}$ 的降温,可见在这个位置有冷空气团的活动。10 时冷空气向东北伸展,在奉贤西部生成一东北—西南向的冷舌,把上海重新分为 3 部分。上海西北部和东南部仍处在暖气团控制之下,南汇温度最高,达 27.4 $^{\circ}\text{C}$,宝山、嘉定、上海、青浦气温都在 26 $^{\circ}\text{C}$ 以上,两区之间的川沙、奉贤和上海县气温都在 26 $^{\circ}\text{C}$ 以下。冷暖气团之间温差较大,尤其是上海东南部等温线密集,形成了明显的温度锋区。

随着冷空气的东移,上海县、川沙县各站温度持续下降。但暖气团控制的上海北部—西北地区如嘉定、青浦和东南部的南汇气温仍有升高,使冷暖气团之间温差更大,等温线更加密集(图 1G 和 H)。这种温度场分布一直持续到 21 时以后才发生了明显变化,出现在温度锋区的对流性暴雨天气也随之结束。

2 风场、散度场分布与暴雨和强对流天气的关系

1986 年 7 月 11 日上海地区普降暴雨,个别地区如宝山降水达 200 毫米以上,嘉定、崇明地区有 8 个站降水量在 100 毫米以上。上海东南部于 13 时 45 分出现了龙卷天气。产生这些强对流天气的气象要素场有什么特点呢? 图 2 是这次过程的风场和散度场的分析图。

2.1 风场

在 10 时的风场分布图上,上海处于东南风控制之下。除江湾机场和长岛前卫农场分别有

8 米/秒和 7 米/秒的东南风外,其他各站风速分布比较均匀。基本气流来自东南方洋面,气温较高。但温度露点差值较大,尤其是在上海县、上海市区、宝山、嘉定等地, $T-T_d$ 值明显高于东北和西南部,在这一暖气团中没有降水发生。11 时以后,上海西北部的宝山、嘉定、龙华站继续维持较小的风速,而东南部的南汇、上海县、松江、川沙等站东南风明显加大,在上海中部形成一近东北—西南向的风速辐合线。宝山—龙华—松江一线以东 $T-T_d$ 值减小,湿度增加。11 日的降水沿这条辐合线开始(图 2B 中的 AB)。13 时以后,上海北部崇明、陈家镇等地开始由东南风转成东北风,且风速较大,与上海、川沙、嘉定、龙华等站的西南和东南风之间形成一条东西向切变线。而在南汇西部周浦和川沙西部北蔡东北风的出现,在上海东北部又形成一条南北向切变线。两条切变线相交于红桥东北方,这个位置正好对应了 14 时的湿中心和暴雨中心。可见这两条中尺度切变线与暴雨团的产生有极其密切的关系(图 2C),这可能是由于两条交叉切变线组织了从东北和东南来的两种不同性质的湿空气在交叉点辐合上升所致。

2.2 散度场

1986 年 7 月 11 日 10 时,上海大部分地区有负的散度值,最大负值区一个在金山, -27.0×10^{-5} /秒。另一个在宝山, -21.2×10^{-5} /秒。其他各站负值区相对较小。从 11 时开始,散度场出现了显著的变化,负值区范围减小,但负值绝对值有较大的增加。12 时南部地区出现了一片正值区,与周围负值区形成明显对照。12 时以后,正值区向东北和西南扩展,东南部负值绝对值仍在增加,正负散度值之间的梯度增大。13 时 45 分在奉贤中部正负散度零线附近出现了龙卷天气(图 2E)。14 时,正值区呈东北—西南向狭带状分布、范围扩大,散度值变大。但与此同时,其东南部负值区散度值出现了跃增现象,致使散度梯度大大地加强,等散度线在正负值之间变得异常密集,强龙卷继续沿着密集等散度线东南边界移动。而暴雨不仅发生在这条东北—西南向散度线密集带的附近,也在嘉定、宝山、川沙北部 13 时出现的正负散度线密集区附近产生。

我们知道,散度是描述速度场辐合、辐散强度的物理量。暴雨发生前,上海大部分地区只有负的散度值,对应着低层的辐合上升运动。暴雨和龙卷发生时,地面散度有明显的细胞状结构,并且辐散中心与辐合中心相间存在,反映了大气中的中小尺度对流活动。当某地辐合加强时 $\frac{\partial D}{\partial t} < 0$,则铅直上升运动得以发展,反之,散度加强时 $\frac{\partial D}{\partial t} > 0$,则铅直下沉运动得到加强。因此正负散度中心之间的散度线密集区也一定对应着强烈的对流运动。

3 暴雨天气与湿、能场的关系

3.1 能量场

图 3 是 1985 年 7 月 26 日 18—24 时上海地区暴雨天气过程的大气能量场和湿度场分布图。暴雨发生前,上海地区能量分布趋于北低南高(图略)。高能区集中在奉贤、金山、松江一带

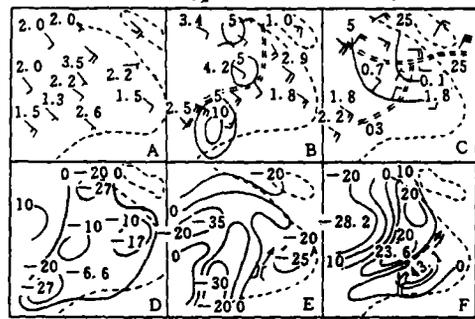


图 2 A—E 1986 年 7 月 11 日 10、12、14 时风场分布和同时刻的等雨量分析(实线) 图中数字为 $T-T_d$ 值,单位 $^{\circ}\text{C}$, 2D—2F 为 10、13、14 时散度分析(单位 $\times 10^{-5}$ /秒)

和川沙地区。18时上海普遍处于高能系统控制之下,能量分布比较均匀。能量锋区在上海西部,前沿已达嘉定、青浦、金山一线。19时随着西部冷空气的东进,有一低能舌向东到达南汇、川沙一线,上海地区能量大幅度下降,低能区主要集中在上海市区和奉贤。上海西部的能量锋区呈“ \cap ”型移入上海地区。能量锋区内能量梯度大,等能量线非常密集。结合当日的天气实况,19时能量锋区附近产生了强雷暴和阵性降水。奉贤、上海县还伴有大风等强烈天气现象。强降水出现在能量锋区的低能侧。

20时低能系统继续东移,中心到达宝山、川沙一线。能量锋区移出上海,整个上海地面能量值再次大幅度下降。可在这时受南来的暖湿空气影响,奉贤地区能量值大幅度上升,上海南部又形成一高能带,与其北部低能区之间形成能量锋区,控制了南汇、松江、青浦一带的广大区域。南汇与川沙之间、奉贤与上海之间等能线密集,能量梯度大,强对流天气就发生在能量锋区内,暴雨依然在能量锋区的低能侧,这是很有意思的。

24时能量锋区北上移出上海,上海不再有明显的暴雨和强对流天气发生。

1985年7月26日强天气过程的地面能量场经历了一个由高能到低能控制,能量锋加强,再回到高能控制的演变过程。在能量天气图上,低能一般对应干、冷空气团,高能对应暖湿的空气团。能量锋区是由有温、湿对比的区域中气流汇合运动造成的。能量锋是位势不稳定与斜压不稳定的表征。能量锋区内等能面陡峭,使高能气流产生强烈的上升运动,极易产生强对流天气。因此,该日上海的暴雨和大风天气均与能量锋区对应。

3.2 强对流天气与湿度场的关系

1985年7月26日16时以前,上海地面湿度分布较均匀, $T-T_d$ 值均在 5°C 以上,没有明显的湿度锋区。从18时起,有潮湿空气从东南方向向北扩展,上海湿度快速增大,奉贤、上海县等中西部地区 $T-T_d$ 降到 2°C 以下,这时出现了与湿舌对应的近南北向分布的带状暴雨区。

20时随着东南部潮湿空气的

北上,上海湿度达最大,除东部的川沙、南汇 $T-T_d$ 在 2°C 以上外,其余各站 $T-T_d$ 值均在 2°C 以下,上海完全在潮湿空气控制之下,降水集中分布在湿舌所在的狭长地带(图3F和3G)。24时以后,湿度下降,降水过程结束。

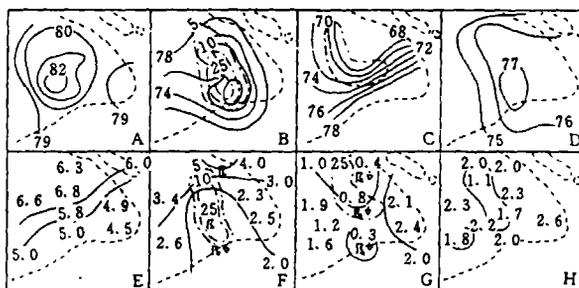


图3 A—D1985年7月26日18、19、20、24时上海地区能量场(单位: $^{\circ}\text{C}$)和降水量(点划线)分布,3E—3H为16、19、20、24时 $T-T_d$ 分布及雨量分布(点划线)

4 结 语

通过对上海地区3次强对流天气过程的地面温压场、风场、散度场、能量场和湿度场的分析,可以看到,这些气象要素场和物理量场在暴雨和强对流天气发生前后都有明显的特征变化。这些演变特征为该类天气的临近预报提供了重要的征兆。

a. 未来暴雨或强对流天气发生在中尺度低压发展区或中高压与中低压之间的等压线密集区,中尺度温度锋区。一般暴雨与中低压区相对应,而强对流天气与等压线密集区一致。

b. 散度场分析发现,暴雨发生时,地面散度场有明显的细胞状分布,辐合辐散场成对出

现。最大雨量中心不是对应于最强辐合中心,而是发生在正负散度区之间。正负散度差值的跃增预示着更强对流天气的发生。

c. 高能区并不是处处都有暴雨出现,强烈天气主要发生在能量锋区。随着锋区内等能线的变密集,天气现象亦愈演愈烈。

d. 强对流的发生往往与湿度的跃增相对应。当空气中水汽达饱和时,天气现象最为激烈,湿舌往往是降水的集中地所在。

e. 对同一次强对流天气过程的能量场和湿度场的综合分析,能量锋区与湿区对应,亦与暴雨中心一致。

f. 暴雨过程中,东南风持续存在,为暴雨的形成提供了水汽条件。中尺度风向切变线和中尺度风速辐合线有利于组织和抬升湿空气形成暴雨和强对流天气。而风向、风速的突变是未来暴雨和强雷暴发展的重要征兆。

参 考 文 献

- 1 姚祖庆. 南京气象学院学报, 1989, 12(3): 16—21
- 2 肖稳安, 姚世臻. 南京气象学院学报, 1989, 12(3): 74—80
- 3 杜秉玉, 陈钟荣. 南京气象学院学报, 1990, 13(4): 664—668

SURFACE OBSERVATIONAL ANALYSIS OF TORRENTIAL RAIN AND SEVERE CONVECTIVE WEATHER IN SHANGHAI*

Xiao Wenan Zhou Yongmei

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract In recent years, some experiences of forecasting torrential rain and severe convective weather are acquired by comprehensive analysis of observational data from satellite, radar and ground surface. Yao Zuqing, Xiao Wenan et al. predicted torrential rain and severe convective weather over the middle and lower reaches of the Changjiang River by tracking cloud cluster activities in terms of the satellite cloud pictures and summing up the features of five types of environmental cloud fields affecting the torrential rain and severe convective weather there and the evolution processes of these cloud clusters. Du Bingyu et al. designed a nowcasting system for predicting the torrential rain over the Three Gorges of the Changjiang River and the Jingjiang area by using mainly the radar data. In this paper, the signs of the weather element fields and the physical quantity fields affecting the three torrential rain and tornado weather processes occurring in Shanghai on September 3, 1983, July 11, 1985 and July 26, 1983 are examined based on the data from the densely spaced ground observing stations in Shanghai, with a prospect of providing a sound criterion for the prediction of torrential rain and severe convective weather by analyzing the variational features of the surface observational data.

Key words Shanghai, torrential rain, severe convective weather, surface observation

* This project is supported by the National Natural Science Foundation of China