

“080825”上海大暴雨综合分析

曹晓岗 张 吉 王 慧 陈永林

(上海中心气象台, 200030)

提 要: 利用常规天气资料以及非常规高密度观测资料、物理量场资料、云图资料以及PWV可降水汽资料等,对2008年8月25日上海地区的强对流暴雨进行了分析。分析表明三支气流在长江中下游及江南北部地区交汇有利于低涡的生成发展,为上海强对流天气的发生提供了有利的天气背景条件;中低纬度系统相互作用为上海强对流暴雨天气提供了水汽、能量和触发条件。在大暴雨开始前12~24小时,水汽、能量和中低层大的正涡度有向长江下游汇合的趋势,在上海附近逐渐形成强的位势不稳定。上升运动集中在1个经度左右非常窄的地区,是产生特强降水原因之一。GPS/PWV探测可以及时了解大气水汽总量的变化,仅靠本地上空的水汽全部落下是远远不够的,还需要大量的水汽辐合。对流云团合并,云核合并后强烈发展移动缓慢同样是产生特强降水原因之一,在对流云团的后侧,对应温度梯度最大,是降水最强的地方。

关键词: 低涡 强对流暴雨 综合分析

Analysis on a Severe Convective Rainstorm Hitting Shanghai on 25 August 2008

Cao Xiaogang Zhang Ji Wang Hui Chen Yonglin

(Shanghai Meteorological Center, 200030)

Abstract: Based on the conventional and non-conventional observations, reanalysis data, PWV potential water vapor data, and satellite images, the convective rainstorm occurred in Shanghai on 25th Aug, 2008 is analyzed. The results show that a sub-synoptic vortex is developed by three strengthening flows from South China, over sea and higher latitude area, respectively, which can explain the convergence of moisture transportation, the accumulation of high energy in previous 12—24 hours, and the trigger of vertical velocity and energy release. A series of satellite picture show the merging of cloud clusters to induce a burst of precipitation. And the slow movement could partly explain the significant accumulation

资助项目: 863 课题 2006aa12a107、中国气象局新技术推广项目 CMATG2007M16 和上海气象局项目数值预报降水释用方法研究

收稿日期: 2008年10月24日; 修定稿日期: 2009年2月26日

of rainfall in a short time. GPS/PWV images display the enriching process of moisture.

Key Words: low vortex severe convective rainstorm synthetic analysis

引 言

2008年8月25日早晨,上海市中心城区出现强雷电和大暴雨天气。这次强降水过程历时短、突发性明显。25日早晨6时江苏南部等周边出现小到中雨,上海市仅西部郊区出现了降水云团,有中等降水发生,6时30分起上海市区降雨云团迅速发展,开始出现强降水,9时起降水明显减小。此次强降水过程的降水强度大,全市有7个自动雨量测站测得降水超过了100mm,降水时段主要集中在07—08时,特别是徐汇区站出现了1小时117.5mm的强降水,为徐家汇1872年有气象记录以来所未遇(1950年8月9日13时14分至14时14分,徐家汇1小时雨量曾达100.7mm)。过程雨量分布不均,暴雨区主要出现在中心城区及中北部地区。造成上海市大面积道路积水,部分交通主干道地道被水淹没,造成全市交通严重拥堵,大量上班人员被困途中,给城市各个方面运行造成十分严重的影响。从预报情况来看,对于这次降水过程的起止时间把握较好,但对于其强度、落区以及降水高度集中的时段估计不足。

对低涡过上海产生大暴雨许多学者进行过分析,姚祖庆对上海0185特大暴雨过程天气形势分析^[1]、曹晓岗对“0185”特大暴雨的诊断分析^[2]、陈永林等对上海“0185”特大暴雨的中尺度强对流系统的活动特征及其环流背景的分析研究^[3]。上海2001年8月5日大暴雨是热带低压经过上海直接产生的强降水,降水是由3个时段组成,徐家汇1小时最强降水量75.4mm。无论是环流形势还是1

小时雨强都与2008年8月25日的上海强暴雨有较大差别,在物理条件上同样会有差别。通过对这次罕见的强降水天气形势分析、物理条件的诊断及卫星云图、GPS/PWV水汽总量的变化研究,试图从中得到对特强降水预报的一些启示,为今后此类强对流天气的预报提供一些参考依据。

1 环流背景和天气形势特征

1.1 三支气流汇合

8月24日20时高空500hPa等压面上,河套地区有短波槽东移,在其前方,850hPa上有低涡位于安徽西部,低涡前的暖切变线伸向长江口,上海在该暖切的东北侧,低涡后部的切变低槽经江西、湖南伸到广西,位于副热带高压的西北侧,在该切变与副热带高压之间有一支低空西南急流存在(图1)。

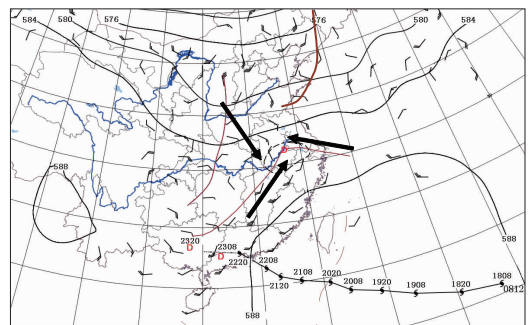


图1 2008年8月24日20时500hPa位势高度、低槽与850hPa的风、低涡和切变线

24日夜间,随着500hPa上短波槽的东移,850hPa上低涡向上海靠近,低空西南急流向东北伸展到低涡前的暖切;在暖切的东北侧边界层中有一支东南气流从海上伸向低涡北侧;同时高空槽带来了弱冷空气。三支

湿度、温度不同的气流在长江下游及江南北部地区交汇,低涡发展加强,上海强对流天气发生的天气背景条件形成。

1.2 中低纬度系统相互作用

2008年第12号热带风暴鹦鹉(Nuri)于8月18日在菲律宾以东洋面上生成后向西偏西方向移动,19日凌晨加强为台风,22日下午4时55分在香港西贡沿海登陆,登陆时中心附近最大风力有12级($33\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),当日22时10分在广东省中山市南口镇沿海再次登陆,登陆时最大风力有10级($25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),继续向西偏北方向移动,23日上午“鹦鹉”减弱为低气压,24日低压中心位于广西境内,受其影响广东、广西东南部普降暴雨到大暴雨,局部特大暴雨。“鹦鹉”的活动及减弱后低压的维持,使华南沿海地区上空水汽积聚,成为重要水汽源地。23日副热带高压开始西伸加强,24日20时588线控制了东南沿海地区,副高西侧的西南急流形成,成为将华南沿海地区上空的水汽向长江下游输送的渠道。

在24日08时的地面天气图上(图略),在云南广西境内是“鹦鹉”减弱后的热带低压,在四川和湖南还各有一个暖低压中心,它的形成与“鹦鹉”相关,其倒槽东伸到湘鄂边界,25日02时继续东移到皖南西部,并加强为1007.5hPa的闭合低压(图略)。25日05时低压中心到达苏浙边界,25日08时到达太湖,强度加强,此时上海恰处于低压东南偏东象限的西南气流和东南气流的交汇处,风向、风速以及水汽辐合均明显加强,25日09时低压中心位于太湖东部昆山,10时30分低压中心从上海浦东北部进入东海。上海统计结果表明低压入海其强度是加强的^[4],这个低压到达上海后同样加强,并成为产生强对流暴雨的次天气尺度天气系统。从徐家汇逐时地面加密观测资料看,从24日20时开

始,上海的 $T-T_d$ 在逐步减小,与此相对应的相对湿度在逐步加大,特别是25日03时后,地面相对湿度开始进入快速上升阶段,07时已上升到95%以上,表明此时上海上空的水汽已趋于饱和,可降水汽在不断加强,随着降水的开始,地面水的蒸发更加剧了空气中水的饱和度;另外,由于降水带来的边界层增温,其反馈作用更加剧了上海的短时降水强度,直到有效位能得到充分释放,降水强度才明显减弱。

500hPa中纬度低槽24日20时位于河套地区,25日08时东移到达 115°E 附近(图略),槽底在 30°N 以南,附近为大片的负变温区,最大降温位于郑州达 -4°C ,上海降温 -1°C 。高空低槽带来的冷空气,与暖湿的西南、东南气流在长江下游交汇,在水汽和能量大量向上海聚集的同时,大气层结变得非常不稳定,中低纬度不同气团的相互作用成为强对流暴雨天气的触发因素。

2 “080825”大暴雨的诊断分析

诊断分析用了实况探测计算的物理量资料和用NCEP再分析资料计算的物理量,NCEP资料为 $1^\circ\times 1^\circ$ 经纬度的格距。

2.1 大暴雨的热力条件

(1) 假相当位温特征

在大暴雨开始前24小时,700hPa θ_{sc} 图上(图2a),江南北部上海西部有个 74°C 的高能中心,长江中下游为高能舌区,上海位于 $\theta_{sc}\geq 68^\circ\text{C}$ 的高能舌区内;24日20时(图略)高能舌进一步扩大,上海处高能中心($\theta_{sc}\geq 72^\circ\text{C}$)的前部,上海在高能平流区中,对流不稳定发展,这种能量分布特征持续到上海大暴雨开始。24日08时、24日20时、25日08时上海500hPa与850hPa θ_{sc} 的差值分别为: 7.7°C 、 -13.9°C 、 -10.4°C 。可见,从24日

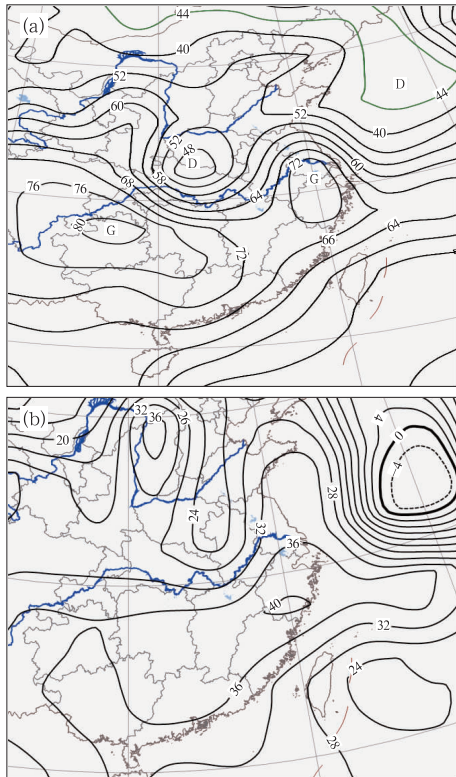


图2 2008年8月24日08时700hPa θ_{se} (a)和2008年8月24日20时K指数图(b)

08时到20时,大气由对流稳定变为最强对流不稳定,25日08时随着降水发生,不稳定能量开始释放。

(2) K指数分析

在上海上游,即西南方,24日08时、24日20时、25日08时的K指数分别为42℃、40℃、40℃,对应这三个时次上海的K指数分别为25℃、34℃、37℃,表明上游的高不稳定区向下游发展到上海及其附近地区。另外,由24日20时K指数图(图2b)可看到,K指数大值区由长江流域伸向山东半岛北,出现了一个类“Ω”分布,在上海西北部的安徽有一低值区在苏皖交界处,高低值之间的高梯度区前沿与强不稳定对应,上海处在该区域前方。25日凌晨随着系统东移,该不稳定区也东移到上海上空,对应着对流活动的

爆发和强降水的开始。

2.2 大暴雨的水汽条件分析

本次大暴雨的水汽累积过程从24日开始,24日20时850hPa水汽通量图在上海的西南方江西和福建交界处有个 $16\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 水汽通量大中心(图3a),有低空急流与中心配合;24日20时925hPa水汽通量散度图上可以看到在上海有一个 $-12\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心(图3b),表明从24日傍晚上海上空的水汽积累已经开始。实际上24日20时上海上空低层的相对湿度达到90%以上(图略),湿层的厚度从地面到接近600hPa。一般当湿层的厚度达到700hPa时,就有利于暴雨的发生,造成暴雨区的水汽集中^[5]。25日8时水汽通量辐合中心仍在上海附近,并且中心值

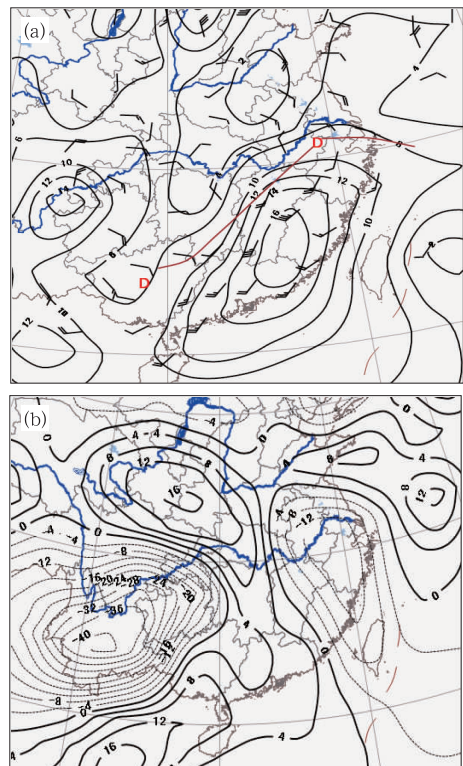


图3 2008年8月24日20时850hPa水汽通量(a)和925hPa水汽通量散度(b)

加大到 $-16 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图略), 上海上空湿层厚度达到 500hPa (图 4)。良好的水汽输送和辐合, 厚湿度气层的形成, 为大暴雨的发生提供了足够的水汽条件。

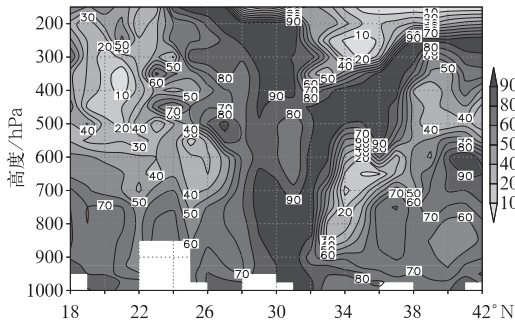


图 4 2008 年 8 月 24 日 20 时相对湿度过上海的经向剖面图

2.3 大暴雨的动力条件分析

23 日到 24 日随着副热带高压的加强西伸, 位于副热带高压西北侧的江南东部到长江下游地区为辐合上升区。24 日 20 时 850hPa 的 $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心位于安徽中部 (图略), 上海在较大的辐合区中, 700hPa 小于 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心在浙江中南部 (图略), 上海在小于 $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合区中。25 日 08 时 850hPa (图略) 和 700hPa (图略) 的小于 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 辐合中心移到上海北部的长江口附近, 中低层的最大辐合中心接近垂直分布, 而 200hPa 的高空上海处辐散区中 (图略), 这种低层强辐合, 高层辐散非常有利于上升运动。

中低层涡度场分析表明, 大的正涡度由西南地区向东北的长江下游传递。在暴雨开始前一天, 大的涡度由西南向长江下游输送。24 日 20 时 850hPa 大于 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 中心在江西西北部, 西南到长江下游处到正涡度区中 (图略), 25 日 08 时中心移到了上海附近的西北 (图略), 并且中心值加强到 $40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上。700hPa 的涡度分布与 850hPa 相似, 但 24 日

20 时大于 $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 中心在两广交界处 (图略), 大的正涡度伸向长江下游, 25 日 08 时大中心同样移到了上海, 上海处大于 $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 正涡度中心区中 (图略)。

从 2008 年 8 月 24 日 20 时涡度过上海的纬向剖面图 (图略) 可以看到, 在 900hPa 上海西侧 120°E 有一个 $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 正涡度中心, 上海上空最大正涡度出现在 850~700hPa 之间, 其数值大于 $9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 到 25 日 08 时大的正涡度中心东移到上海 (122°E) 上空, 中心强度加强到 $21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 在 500~400hPa 之间还有一个大于 $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心 (图略), 表明正涡度的垂直层次深厚。25 日 08 时上海经向剖面图 (图 5), 大的正涡度中心所在的高度与纬向剖面图一致, 中心位于上海上空, 即 31°N 附近, 并且范围很窄。

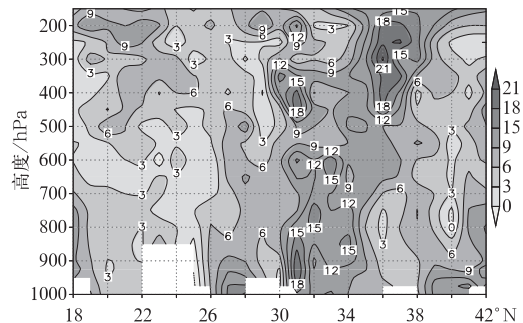


图 5 2008 年 8 月 25 日 08 时过上海的绝对涡度经向剖面图

上述涡度、散度的分布对触发中尺度对流上升运动十分有利。从 25 日 08 时过上海的垂直上升经向剖面图 (图 6) 可以看到, 上海处最大上升中心, 上升速度在 600hPa 高空达 $-0.8 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 在其南侧的 30°N 附近有一个正 $0.7 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 下沉中心, 北侧有正 $0.3 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 下沉中心。这种分布形成的反馈机制加强和维持了垂直上升运动。中低层辐合上升, 水汽凝结释放的潜热又成为驱动了大尺度扰动所需要的能量, 中小尺度系统和大尺度流场的相互作用, 加强和维持了暴雨对流系统。另

外,上升运动集中在 1 个经度左右非常窄的地区,与上海小于 100km 范围内出现强降水相对应,这也可以解释为什么这次过程上海降水突发性强、降水强度大、雨量分布不均的原因。

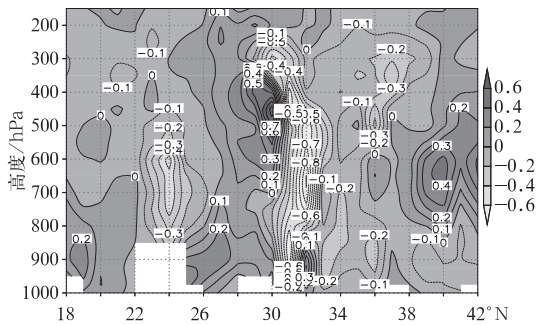


图 6 2008 年 8 月 25 日 08 时垂直速度过上海的经向剖面图

3 卫星云图特征

25日凌晨04时(图7),云图上明显反映

出华东地区有两条主要云雨带,一条是江南北部切变线上产生的对流云带;另外一条是高空槽前辐合产生的位于华北的云雨带。上海正处于两者之间的云区中。在 24 日 20 时的 850hPa 图上可以看到切变线上位于安徽中南部有一个低涡,随着副热带高压的西伸加强,高空槽东移,西南气流明显加大,低涡前部的切变线北抬,在长江下游形成强的辐合上升。25 日 05 时高空槽带来的冷空气到达上海上空,在切变线上的南通附近触发出中尺度对流云团,云顶温度小于 -45°C 。在上海的西部有一个小的对流云刚刚产生,嘉兴地区也有一个中尺度对流云团。06 时南通附近的云团在快速发展,上海西部的对流云团发展成 MCS,云顶温度同样小于 -45°C 。嘉兴的中尺度对流云团向东北方向移动。07 时这三个对流云团在上海中北部合并,云核合并后强烈发展并停滞少动,在对流云团合并的位置强度明显加

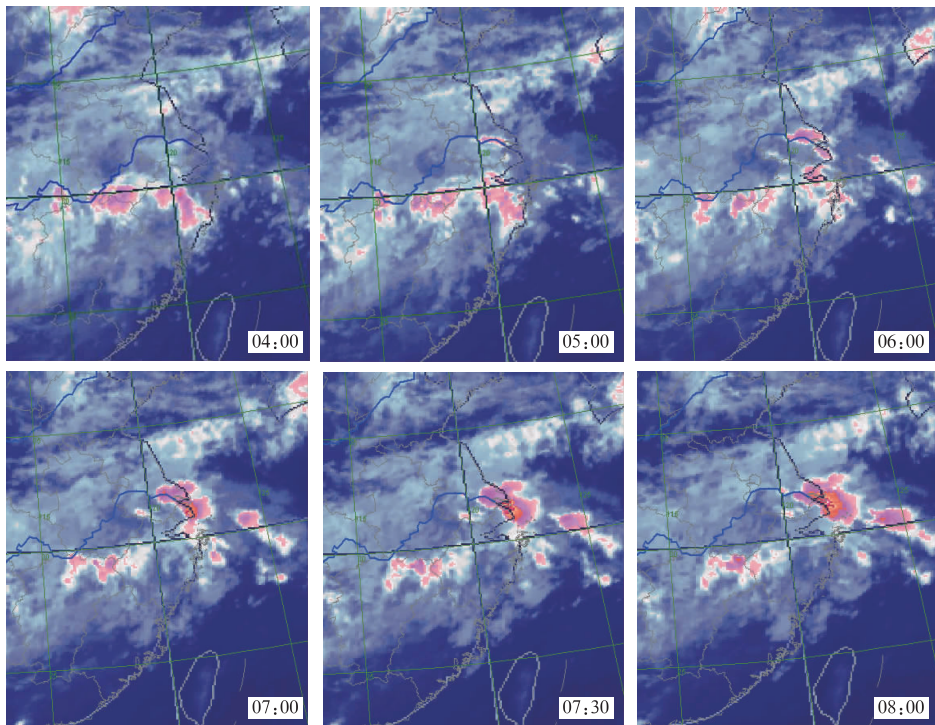


图 7 2008 年 8 月 25 日 04 时、05 时、06 时、07 时、07 时 30 分和 08 时 FY-2C 红外云图

强,中心云核达 -65°C ,在对流云团的后侧,对应温度梯度最大的地方强降水开始了。此后,中尺度对流系统(MCS)进一步加强,中心云核达 -75°C ,大范围云顶温度在 -45°C 以下,移动缓慢,造成徐家汇 1 小时雨量 117.5mm 创历史纪录的强降水。上午 10 时中尺度对流系统东移到海面上,范围进一步扩大,上海的强降水结束。25 日凌晨强降水云团是在上海加强发展的,其生成是不连续的,其发展有很强的突发性。

由于副高加强,低涡东移缓慢,来自西南地区和东海的水汽充沛,强对流云团迅速发展且形成第二类条件不稳定^[6],中尺度对流系统不断加强,是强降水云团在上海维持的主要原因。同样,在多普勒雷达回波中可以看到云团内的对流单体的合并(图略)。

4 GPS/PWV 分析

从长三角的 GPS 探测网(68 个站点)可清晰地看到大气可降水量(GPS/PWV)的动态变化。与 24 日相比,经过一天的水汽输送,上海地区集中了大量水汽,25 日早晨上海及其东南,特别是海上大气可降水量有显著增大(图 8),25 日 08 时 NECP 模式分析计算的大气可降水量与 GPS/PWV 是一致的(图 9),上海处在大于 60mm 的大值区中。在低层暖切变前的东南气流的作用下,源源不断的水汽输送对强降水的发生是非常有利的。

图 10 给出 2008 年 8 月 24 日 14 时至 25 日 20 时上海徐家汇 GPS/PWV 变化,24 日 14 时徐家汇 GPS/PWV 还在 28mm 以下,此后逐渐上升,25 日 6 时上升到 60mm 以上,7—8 时达到 67mm 的极大值,而这 1 小时也是徐家汇降水最强的时段(117.5mm)。到 25 日 15 时以后随着不稳定能量的不断释放,GPS/PWV 值开始逐步回落,17 时以后降到 60mm 以下。2002—2008 年 7 年中 8 月下旬上海的平均

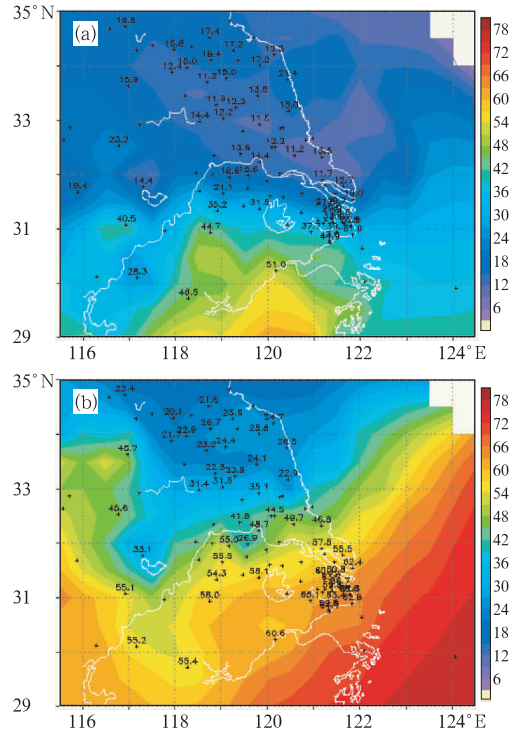


图 8 2008 年 8 月 24 日 13 时(a)和 25 日 07 时 30 分(b)大气可降水量(GPS/PWV)

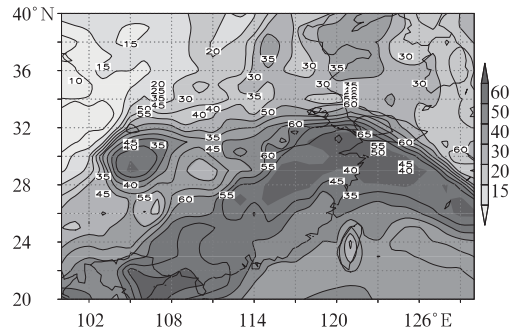


图 9 2008 年 8 月 25 日 08 时大气可降水量

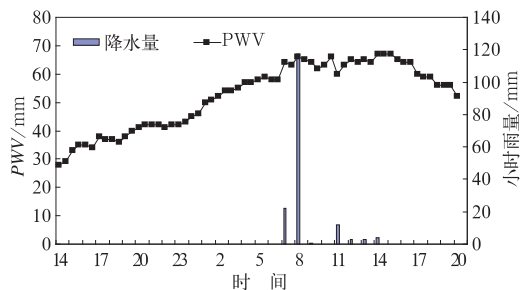


图 10 2008 年 8 月 24 日 14 时至 25 日 20 时上海徐家汇降水和 GPS/PWV 变化

GPS/PWV 值为 49.2mm。多年统计可知 8 月下旬是上海对流天气多发时段,当 GPS/PWV 达到 55mm 时上海将产生强对流天气^[7],GPS/PWV 在 60mm 时会产生短时强降水,这次过程同样在 60mm 以上。因此 GPS/PWV 在 60mm 以上时对暴雨短时预警有指示作用。另外,由徐家汇 1 小时雨量可知,仅靠本地上空的水汽全部落下是远远不够的,还需要大量的水汽辐合。分析 25 日 08 时的中低层水汽通量散度,在上海附近的确实存在强的水汽辐合中心(图略)。

5 小结

通过以上分析,找出了一些影响暴雨强降水的物理因子及非常规资料对强降水的反映,为今后大暴雨预报及短时预警提供参考有积极意义。

(1) 三支气流在长江中下游及江南北部地区交汇有利于气旋的生成发展,冷暖空气在上海附近汇合,为上海强对流天气的发生提供了有利的天气背景条件。中低纬度系统相互作用为上海强对流暴雨天气提供了水汽能量和触发条件。

(2) 在大暴雨开始前 12~24 小时,上海处高能中心前部 $\theta_{sc} \geq 68^\circ\text{C}$ 的高能舌区内。大暴雨开始前 K 指数是逐渐增大的,随着高空低槽的东移,强不稳定区 25 日凌晨也东移到上海上空,对暴雨中尺度对流系统的产生是非常有利的。

(3) 大暴雨的产生需要本地上空有大量水汽和不断的水汽输送,24 日 20 时 925hPa 上海有一个 $-12 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心,90% 以上湿层的厚度从地面

到达 600hPa。5 日 8 时水汽通量辐合中心仍在上海附近,上海上空大于 90% 的相对湿度达到 500hPa 以上。

(4) 动力条件在前 12 小时也有一定反映,中低层大的正涡度中心已移到上海及其附近地区,上海处在辐合区中。25 日 08 时上升运动集中在 1 个经度左右非常窄的地区,与上海小于 100km 范围内出现强降水相对应,这也可以解释为什么这次过程上海降水突发性强、降水强度大、雨量分布不均的原因。

(5) 3 个云顶温度小于 -45°C MCS 对流云团在上海中北部合并,云核合并后强烈发展,中心云核达 -75°C ,大范围云顶温度在 -45°C 以下,在对流云团的后侧,对应温度梯度最大的地方降水最强。

(6) GPS/PWV 探测可以及时了解大气水汽总量的变化,当 GPS/PWV 上升到 60mm 以上时,对降暴雨是非常有利的,但仅靠本地上空的水汽全部落下是远远不够的,还需要大量的水汽辐合。

参考文献

- [1] 姚祖庆. 对上海 0185 特大暴雨过程天气形势分析[J]. 气象, 2002, 28(1): 26-29.
- [2] 曹晓岗. “0185”特大暴雨的诊断分析[J]. 气象, 2002, 28(1): 21-25.
- [3] 陈永林, 杨引明, 曹晓岗, 等. 上海“0185”特大暴雨的中尺度强对流系统的活动特征及其环流背景的分析研究[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 29-35.
- [4] 漆梁波. “0185”特大暴雨的非常规资料的初步分析[J]. 气象, 2002, 28(1): 34-38.
- [5] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 560.
- [6] 姚祖庆. 上海地区中尺度强对流暴雨系统的环境云场分析研究[J]. 南京气象学院学报, 1989, 12(增刊).
- [7] 叶其欣, 杨露华, 丁金才, 等. Gps/pwv 资料在强对流天气系统中的特征分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(2): 142-148.