

“93·8”鲁南特大暴雨的分析

朱官忠 李玉华

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要

通过对1993年8月4—5日鲁南特大暴雨的环流背景、环境场特征及中尺度系统的诊断分析,指出:在副热带高压加强西伸、高原槽携西南涡东移的有利环流背景下,低空偏南急流将高能暖湿空气输送到低涡辐合中心前部的东西向静止锋上被强迫抬升,引起中尺度对流复合体的发生、发展和再生,是造成鲁南特大暴雨的基本原因。

关键词: 西南涡 中尺度对流复合体 特大暴雨

引 言

1993年8月4日下午到5日中午,山东南部的菏泽、济宁、枣庄、临沂等地(市),自西向东先后出现了山东近20年来最强的一次大范围暴雨(简称“93·8”暴雨)。过程总雨量,全省共48个县(市、区)超过50mm。其中有31县超过100mm;12个县超过200mm。包括邻省不完全雨量资料,此次降雨过程的暴雨带从河北南部到江苏沿海,大致呈西北—东南走向,宽约200km,长约1000km。其间有5个特大暴雨中心,而以鲁南一个最强,微山和苍山分别达353.3和320.6mm(图1)。另据地方雨量资料,有7个县的部分乡镇降雨量超过300mm,临沂市盛庄镇最大,达540mm。为历史上所罕见。这次暴雨过程自3日夜间从河套地区开始到5日夜间于江苏南部结束。在暴雨区自西北向东南移动中,各地降暴雨的集中时间一般为4—8小时,强降雨时间仅为1—3小时。因此,降雨强度极大。仅山东省内台站1小时雨量 $>50\text{mm}$ 的就有17个时次,其中 $\geq 100\text{mm}$ 的达5个时次。4月20—21时,菏泽地区的曹县1小时降雨121.3mm。为此次暴雨过程中的最大雨强。这次暴雨强度大,范围广,且局部伴有龙卷和10级以上强风,给鲁西南和鲁南地区造成了严重洪涝灾害和人员伤亡^[1]。

1 环流形势简述

“93·8”特大暴雨,发生在西太平洋副热带高压迅速加强西伸的环流背景下。1993年7月下旬,太平洋副高较常年明显偏弱,主体一直龟缩在 140°E 以东洋面上空。但自7月底开始,500hPa上副高明显加强并迅速西进。8月3日08时,中心已移到赣南上空,强度达5940gpm。其外围588线西抵川西,北达鲁南。我国中部和东南部的大范围地区已在副高主体控制下,副热带西南急流西推到了川西到陕南一带。此时,西风带在乌拉尔山和我国东北北部上空各为一阻塞高压,西西伯利亚到新疆上空为一宽广的低槽。由于副高西进的影响,2日20时原在西藏高原东部的一个浅槽

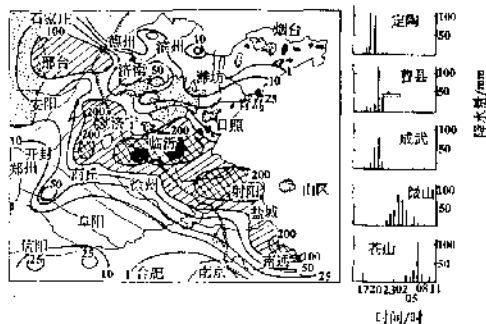


图1 1993年8月4—6日08—08时总降水量分布及重点站1小时降水量的时间分布

沿副高边缘向东北方向移到了青海湖附近,相应700hPa在吕都附近的西南涡亦随高原槽移到了兰州南部(图略)。受西风槽和西南涡影响,3日夜问在西安附近有一个996hPa的地面气旋生成,并造成河套地区大范围较大降水。4日08时,当副高中心继续西进到湖南上空时,西风槽和低涡已东移到河套东部上空,相应地面有一条弱冷锋自华北移到鲁西北地区。由于锋后冷空气自华北南侵,使河套南部气旋迅速填塞,4日下午在河南西部的地面倒槽内新生了一个黄淮气旋向东北方向移动,并首次造成了鲁西南暴雨。另外,在副高西进过程中,从东北南部不断有小股冷空南下,使朝鲜半岛到华东沿海上空一直维持一较深低槽,故山东上空正处于河套西风槽与沿海低槽之间的高压脊内,胶东半岛到黄海上空一直受较强的西北气流控制。因此,700hPa低涡和地面黄淮气旋移过115°E以后,都逐渐折向东偏南方向移动,6小时暴雨中心亦随之向东南移(图2)。4日夜问到5日上午鲁西南—鲁南的大范围暴雨,就是在副高北侧西风槽逐渐顺转为东西向切变的过程中,受对流层下部低涡和地面黄淮气旋的影响造成的。

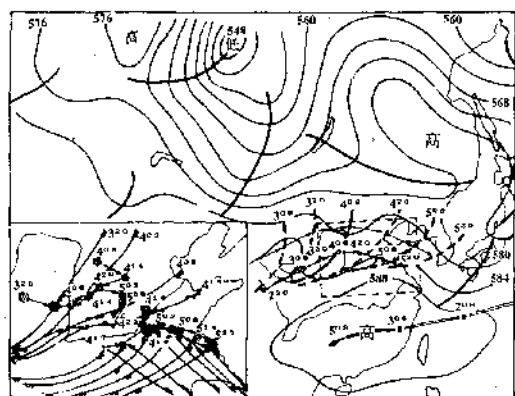


图2 1993年8月4日08时500hPa形势及综合动态
黑圆点为700hPa西南涡位置,左下角为框区地面系统路径,圆形区为6小时暴雨中心位置及动态

2 产生特大暴雨的环境场特征

通过对8月4日20时鲁西南暴雨最强时刻的高低空环境场分析,可清楚地看出,特大暴雨是在高低空流场结构、温湿场配置与水汽条件、能量形势等均十分有利的大气环境中产生的。其主要特征为:

2.1 在高低空流场结构上,对流层上层的强辐散区恰好叠置在低层的低涡辐合区上空。当时850hPa低涡辐合中心还位于鲁西南,其南侧从芷江经汉口到徐州有一支12—16 $m \cdot s^{-1}$ 的低空急流直指暴雨中心;而200hPa上空,在38—45°N之间的西风急流带南侧,正好为一个反气旋性强辐散区控制了鲁、豫和苏皖北部一带(图3)。显然,这种高低空流场结构十分有利于低层辐合气流在鲁西南集中,在整个对流层内形成深厚的大尺度上升运动,然后再从高空迅速辐散流出。从而使垂直上升运动能较长时间地维持。因而有利于产生较强的暴雨^[2]。

2.2 在中低层温湿场配置上,中层降温区叠置于低层暖湿区上空。由于850hPa低空偏南急流的建立,在暖湿平流作用下,南方大量暖湿空气被输送到黄淮地区,并在低涡辐合中心南侧形成一个22—25℃的高温区和 $\theta_{se} > 355K$ 的高能中心。而在低涡北侧东北气流作用下,从东北地区南部经京津地区伸向山西高原为-17℃的冷舌。从而在低涡辐合区所在的黄河中下游一带形成了一条近东西向的明显锋区。与此同时,在500hPa,由于西风槽携带的弱冷空气与自东北南部南下的冷空气结合,从渤海西部经黄河下游伸向苏北一个-4℃的冷槽,使这一带24小时气温下降了2—5℃。济南正处于负变温中心($\Delta T_{24} = -6^\circ C$)(图3)。由于中层500hPa平流降温区正叠置在低层850hPa强暖湿区上空,对于该区域位势不稳定的形成与重建极为有利。故在当时华北区域的mk指数¹⁾和沙氏指数分

$$1) \quad mk = \frac{1}{2} (T_c + T_{35}) : \frac{1}{2} (T_{d0} + T_{d35}) - T_{35} - (T - T_d)_{70}$$

汇集,建立了一条很强的水汽输送带。其最大输送中心位于汉口到阜阳一带,水汽通量值达 $23.5\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。该水汽输送带较狭长,其前部恰位于气流辐合中心。这个水汽输送带的建立和维持是造成鲁西南—鲁南特大暴雨的重要条件。加上苏北沿海东南气流将我国东部洋面的部分水汽经鲁南输送到鲁西南辐合区,因而在黄淮地区形成了一个很强的高湿区,地面露点高达 $25\text{--}28\text{C}$,比湿在 $20\text{--}24\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;850hPa露点高达 $19\text{--}20\text{C}$,比湿在 $16\text{--}18\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图5)。这远远超过了发生一般暴雨—大暴雨的水汽含量。而且,高湿区内的湿层非常深厚,从地面直到200hPa的温度露点差均小于 4C 。为产生特大暴雨创造了条件。

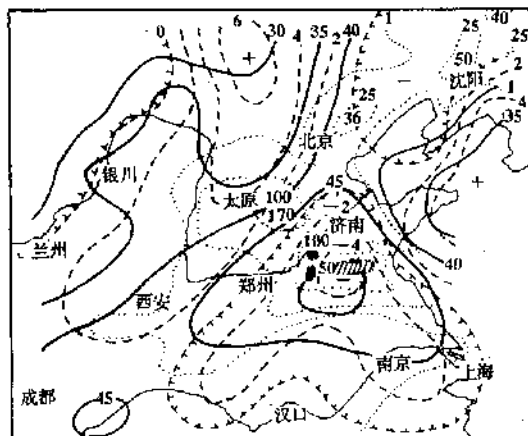


图4 8月4日20时mk指数,SSI指数与暴雨区对应

粗实线为mk等值线;粗断线为SSI等值线;断虚线为SSI=0℃线;细虚线为4日08时—5日08时等雨量线;斜影区为特大暴雨中心

2.4 在能量场上,鲁西南正处于两个低能舌之间的高能舌内。在4日20时850hPa能量场上,由西风槽弱冷空气入侵在山西高原形成一个南伸低能舌,同时东南北下冷空气在朝鲜半岛到胶东半岛形成了另一个低能舌,其间从我国中原到华北平原为一北伸高能舌,黄河下游地区的总温度均在 68C 以上。位于郑州的高能中心,总温度达 81.2C 。且高能区

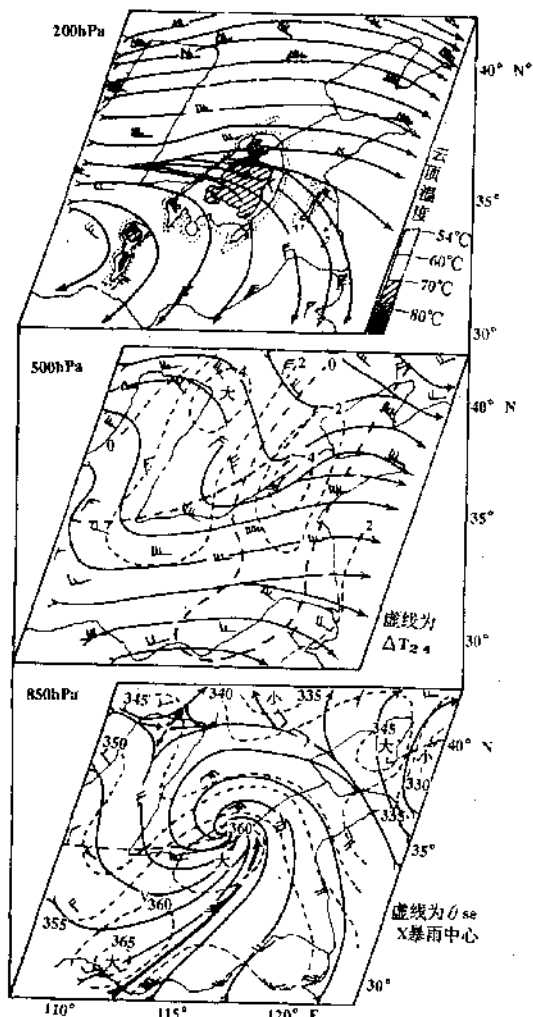


图3 8月4日20时高低空流场及湿湿场
200hPa上虚线区为19时30分红外云区等湿线

布场上,黄淮之间出现了 $mk>45\text{C}$ 、 $SSI<-2\text{C}$ 的大范围高能位势不稳定区。位于不稳定中心的徐州, $mk=50.2\text{C}$ 、 $SSI=-4.1\text{C}$ 。暴雨区就出现在不稳定中心的下风方,且 $mk\geq 40\text{C}$ 和 $SSI\leq 0\text{C}$ 区正好与对流性降水区有极好的对应关系(图4)。这表明位势不稳定高能区的形成,对产生特大暴雨具有十分重要的作用。

2.3 低空有充沛的水汽输送到鲁西南气流辐合区。4日20时850hPa上,来自我国西南地区的水汽,通过低空急流迅速向鲁西南地区

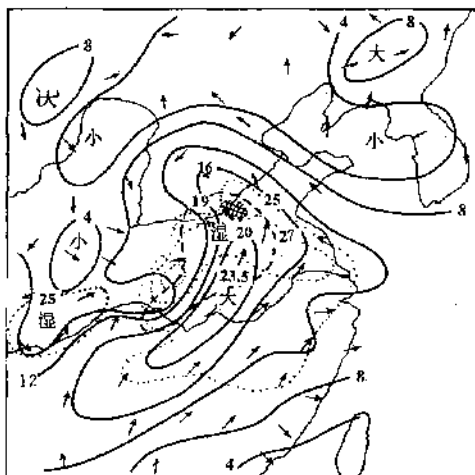


图5 8月4日20时850hPa 水汽通量及湿区分布
粗渐线为850hPa 等露点线;细虚线为地面等露
点线;影区为过去6小时暴雨中心

正好与潜在不稳定区及上升运动区相重合(图略)。这种能量形势十分有利于能量集中,并在高能舌内产生特大暴雨^[3]。

随着地面气旋和低层低涡辐合中心逐渐向东南方向移动,低空西南急流逐渐转为西南偏西急流。4日后半夜暴雨区移到鲁南时,不仅范围明显缩小,降水强度也有所减弱。但从5日早晨开始,降水强度再度增强。06--07时,苍山出现了1小时雨量达110.2mm 的特大暴雨,且直至上午10时,鲁南每小时都有50--80mm 的强降雨中心。从5日08时鲁南暴雨最强时刻的高空环境场分析可以看出,鲁南特大暴雨的形成,除前述有利环境条件仍基本存在外,还与暴雨的反馈作用有关。4日夜间暴雨区水汽大量凝结所释放的潜热,一方面使气块增暖增大了浮力,从而加强了上升运动;同时强烈的对流活动将中低空产生的潜热和感热迅速向高空输送,使对流层上部不断增暖,高空等压面抬高,从而引起暴雨区上空高层空气质量外流和高空辐散加强。反过来,空气柱内质量的外流又导致了地面气压下降和低层辐合的加强。因此在高空辐散与低空辐合的叠置区,因中尺度铅直环流加强而在地面辐合中心附近引发更强的暴雨。

鲁南暴雨的这种反馈机制,可从暴雨区连续出现3小时负变压中心、地面辐合流场加强及对流层上部流场与温度场的变化中得到证实。5日08时,暴雨区上空200hPa 气温明显升高,鲁南和苏北一带 ΔT_{24} 达2--4℃,同时辐散气流也明显加强。正好在200hPa 强辐散区与-44℃暖中心对应下的地面气旋中心附近出现了范围较小的强烈暴雨(图6),暴雨中心6小时雨量达216mm(苍山)。

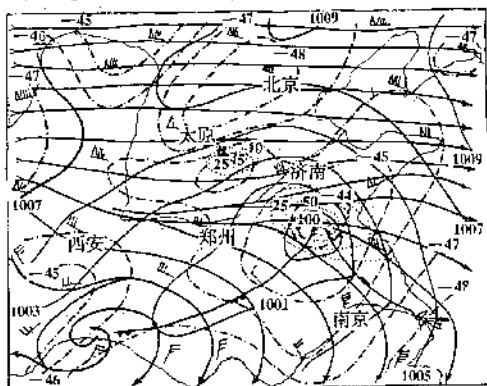


图6 8月5日08时200hPa 流场、温度场及地面形势
箭头为流线;点划线为等温线;细实线为等压线;
细虚线为过去6小时等雨量线

3 特大暴雨的中尺度分析

3.1 地面流场特征及强降雨团活动

通过对8月4--5日山东范围逐时流场和1小时强降雨团移动情况的分析,“93·8”特大暴雨过程大致可分为4个阶段。

第一阶段,从4日早晨到中午,为特大暴雨前期。流场上与华北弱冷锋对应的东北风与东南风之间的切变线有规律地由鲁西北向偏东方向移动,切变后有带状排列的弱雨团中心随切变线移动。至14时,切变线移到鲁中山区北侧时受阻渐趋静止,东段在莱州湾附近,东北风与东南风切变最强处有强对流发展,其后1小时羊角沟出现了30.6mm 的雷阵雨;西段停滞于鲁西,虽然风向切变已不明显,但偏东风与东南风的辐合十分显著,因而鲁西也有一片雷阵雨区,中心1小时雨量达34.1mm(图7a)。本阶段降水主要由中尺度切

变线造成,降水强度不大,降水区集中于鲁西、鲁西北地区。

第二阶段为4日下午到午夜时分,是特大暴雨的第一高峰期。由于河南有气旋波生成并逐渐移近鲁西南,流场上以鲁西南为中心的气旋性环流加强,原滞留于莱州湾附近的切变线又逐渐西推到鲁西北地区。本阶段强暴雨集中出现于菏泽地区,但流场上除强降雨团后部有弱的辐散外,并无明显的中尺度系统。最强的一个雨团于16时从河南省移进菏泽西部的东明县,并在向东南方移动中迅速加强,先后经菏泽、定陶、曹县、单县于23时进入江苏的丰县、沛县一带逐渐减弱。18—21时,雨团最强时,连续3个时次的雨强达100mm以上:18—19时108.7mm(定陶)、19—20时100.9mm(定陶)、20—21时121.3mm(曹县)。另外,受西推到鲁西北的切变线影响,亦有一个30mm以上的雨团于

20时自高唐经夏津向西移到临清,然后进入河北的邢台地区。22—23时这个雨团移到临清时,1小时雨量也达到了64.9mm的强度。

第三阶段,4日后半夜,为特大暴雨的持续期。4日午夜时分,地面气旋波进入鲁西南,暖锋切变北推到菏泽、徐州到淮阴一线。其后因气旋中心折向东南移动,暖锋趋于静止。因此,地面流场上,在暖锋切变与尼山之间,沿大运河、南四湖一带的狭长区域内,地面东南风明显加强,风速由 $4-6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 增至 $6-10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,加之气旋辐合中心由西北向东南正朝南四湖移动,所以,这期间位于大运河和南四湖两侧的济宁、枣庄两市便成为流场上的持续性辐合区,对流性降水区也在这一带较长时间维持。降雨最大的是微山县城,4日23时至5日04时5小时内降雨273.6mm,且这5小时内该强降雨团一直未动。其中01—02时降雨最强时,1小时降雨量达89.6mm(图7b)。

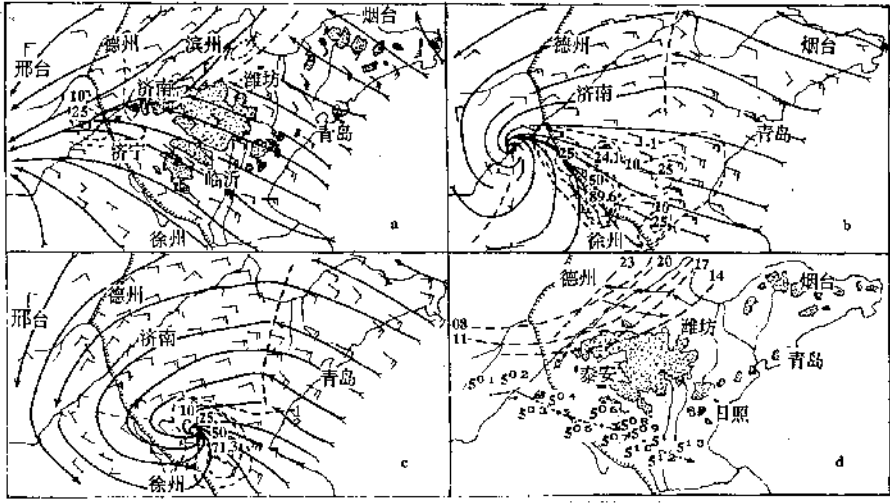


图7 1993年8月4—5日山东区域流场及1小时雨量分布

第四阶段,5日早晨到上午,为特大暴雨的第二个高峰期。地面气旋辐合中心进入鲁南以后,中心移动速度逐渐减慢,辐合流场明显加强,中心附近的10分钟平均风速增至 $8-12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。暴雨区范围明显缩小,强暴雨中心则出现在辐合中心的东南部位(图7c)。从本阶段强降雨团中心与辐合中心的移动路径看

出,气旋辐合中心有跟随暴雨中心移动的趋势,即某时次辐合中心所在地,正是前3—4小时暴雨中心之所在。如前所述,这一现象表明,地面降压与辐合加强与暴雨反馈作用有密切联系。

3.2 卫星云图分析

通过对8月4—5日逐时 GMS-4红外云图

分析,可清楚看出,“93·8”特大暴雨过程,是受一次典型的中纬度中尺度对流辐合体(MCC)影响的结果。整个暴雨过程,即是MCC生成—发展—成熟—减弱—再生的过程。

MCC的形成始于4日中午以后,当时,500hPa河套短波槽正逼近鲁西,相应地面华北弱冷锋已南移到莱州湾到鲁西一带转为近东西向的静止锋。此时,汉口到徐州有一支偏南低空急流源源不断地将高度潮湿的暖空气输送到静止锋附近的辐合区内,从而为MCC生成提供了有利的环境条件。在14时30分左右接收的红外云图上,静止锋附近的对流云区A₁和A₂位于黄河下游东西两侧。同时,在邢台到长治还有一个锋后对流云团B正在向东南方向移动。值得注意的是,此时在开封到驻马店有一条很小的南北向新生对流云C出现(图8a)。由于C云团正处于地面倒槽前部的高湿不稳定区内,仅过了1小时,该云团即迅猛发展,表现为范围显著扩大,云顶

温度明显下降,中心部位的云顶温度已降到-70℃以下,且在其东西两侧又各有一个对流云团D、E新生。此时A₁、A₂和B3个云团的强度和范围虽无大变化,但在A₁沿黄河以西向西南方移动的同时,A₂却反向在黄河以东朝东北方向移动,因而呈现分裂迹象。B云团则继续南移,逐渐与A₁靠近(图8b)。至16时30分左右,B云团前部与A₁连接,使A₁云团在继续向西南方向移动中迅速发展加强,云区内出现大范围-70℃以下的冷云区,B云团后部则出现分裂减弱迹象,A₂分裂迹象更为清楚。此时,C云团也因其范围不断扩大而在鲁豫交界处附近与A₁相接(图8c)。17时30分左右,云团B与A₁合并后,对流明显加强,冷云区面积迅速膨胀,云顶温度继续下降,局部出现了T_{BB}<-80℃的上冲云顶,从而发展为MCC的核心。这时,A₂已完全分裂出去,南部暖湿区内3个正在发展中的对流云团C、D、E已合并到了以A₁、B为核心的对流云区内。至此,MCC已基本形成(图8d)。

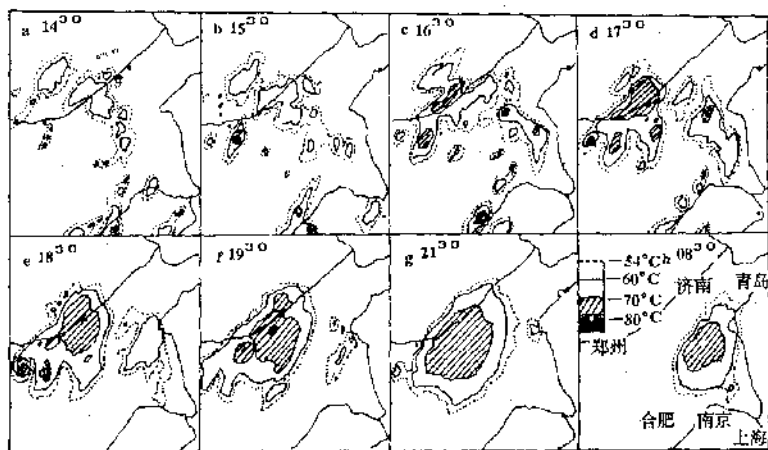


图8 8月4日5H GMS 4红外云图素描

17时30分至21时30分为MCC的发展阶段。这期间,已并入对流辐合体内的各对流云团继续完成合并过程,同时冷云区范围继续不断扩大。19时30分左右,MCC为发展期内对流最强时刻,配合图3可清楚看出,当时MCC正处于低层辐合、高层辐散的叠置区,其最冷云区位于35.1°N、115.6°E附近,云顶

温度达-80℃以下。就在这个强中心下面,定陶县18-20时仅2小时内的降雨量就高达209.6mm,同时,郓城等地还出现了龙卷风和10级以上的短时大风。

随着MCC内部垂直上升运动的持久维持,从高空水平辐散流出的气流在MCC四周下沉,一方面使外围零散对流云消散,同时

也使云区边界变得越来越清晰。至21时30分左右, MCC 已进入完全成熟期。形如椭圆形胞状, 冷云区等温线较光滑, $< -70^{\circ}\text{C}$ 的冷云区面积显著扩大, 但 $< -80^{\circ}\text{C}$ 的最冷云区消失(图8g)。22时30分 MCC 达到最强盛时, 其一 -54°C 的冷云区面积达16.4万 km^2 左右。鲁西南的特大暴雨就出现在 MCC 发展到成熟期内。且强暴雨中心正位于 MCC 的中心附近。

从23时30分以后, MCC 外围云区继续扩展, 同时, 中部 $< -70^{\circ}\text{C}$ 的冷云区开始分裂, 表明云区上升运动逐渐减弱。其后, 云区一面缓慢向东南方移动, 一面向西南方向拉长。至5日03时30分左右, MCC 已基本崩溃。但05时30分左右, 残留于 34°N 、 118°E 附近的一个小云团因恰处于地面气旋辐合中心上空而得以再生。加上这时在太湖附近有一个新生对流云团与之合并, 使之迅速发展和加强, 结果, 在08时30分左右已发展成为第二个 MCC(图8h)。5日10—11时达到最强盛期时, $< -54^{\circ}\text{C}$ 的椭圆形冷云区面积约为12.5万 km^2 。鲁南特大暴雨也正好出现在第二个 MCC 发展到成熟期内。

5日中午以后, MCC 逐渐向东南方移入江苏和黄海, 同时不断向西南方向拉长, 直至减弱分裂。暴雨过程也随之结束。

4 小 结

4.1 盛夏期西太平洋副热带高压明显加强西伸, 迫使高原槽与西南涡向东北方向移到

$35^{\circ}\text{--}40^{\circ}\text{N}$ 之间沿副高边缘东移, 为产生“93·8”鲁南特大暴雨提供了有利的环流背景形势。

4.2 西风带短波槽与低层低涡迫近鲁西时, 从长江中游到黄淮有低空急流将大量暖湿空气输送到低涡前部, 同时中层有冷空气移到低层暖湿区上空, 有利于强位势不稳定区域形成, 并在高空辐散与低空辐合相叠置的气柱内触发强而深厚的垂直上升运动。从而为“93·8”特大暴雨的发生和维持提供了最有利的环境条件。

4.3 在副高边缘的中低空正涡度潜在不稳定区内, 有东西向切变线和静止锋滞留于鲁中到鲁西一带, 且低空有极为暖湿的偏南气流源源不断地流入鲁西南辐合区, 并在弱锋面上强迫抬升, 引起 MCC 发生、发展与再生, 是造成“93·8”特大暴雨的基本原因和直接影响系统。因此, 在有利产生暴雨的环流形势及环境条件下, 按照 MCC 生成的条件, 着力找出有利其发生、发展的地区, 并根据云图特征连续追踪其活动, 对于做好特大暴雨的短期和短时段落区预报, 具有极其重要的意义。

致谢: 刘恭淑、于少晶同志协助整理部分资料, 特此致谢。

参考文献

- 1 朱凤林. 鲁西南大暴雨成灾, 气象部门预报准确服务及时. 中国气象报, 1993, 8, 19, 第1版.
- 2 朱官忠, 李性真. 济南“87·8”特大暴雨成因分析. 气象, 1988年第11期.
- 3 雷雨顺. 能量天气学, 北京: 气象出版社, 1986.

An Analysis of the Exceedingly Heavy Rain “93·8” in the South of Shandong Province

Zhu Guanzhong Li Yuhua

(Shandong Province Meteorological Bureau, Jinan 250031)

Abstract

Dignosis shows that the basic contributing factors caused the exceedingly heavy rain during August 4—5, 1993 in southern Shandong Province are as the following. Under the suitable circulation background as subtropical high intensified and spreaded westward, and the plateau trough moved eastwards with the southwest vortex, warm and wet air with southerly jet at the low layer were transported and reached over the stationary front (from west to east) in the front of the convergence core of the low vortex, and forced lifted, then, MCC (Meso-scale Convective Complex) generated, developed, and regenerated.

Key Words: southwest vortex MCC exceedingly heavy rain