

井喜,范丛勇,王雄,等江苏北部一次由 MCC 引发的致洪暴雨综合分析.暴雨灾害,2009,28(1):1-7

# 江苏北部一次由 MCC 引发的致洪暴雨综合分析

井喜<sup>1,2</sup>,范丛勇<sup>3</sup>,王雄<sup>4</sup>,万宏卫<sup>2</sup>,兰新哲<sup>5</sup>

(1.中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081;2.陕西省榆林市气象局,榆林 719000;  
3.江苏省连云港市气象局,连云港 2222006;4.江苏省滨海县气象局,滨海 224500;  
5.陕西省榆林市人民政府,榆林 719000)

**摘要:**利用卫星云图、NCEP 资料和 MICAPS 系统提供的实况资料和物理量等,对 2008 年 7 月 23 日江苏北部一次中尺度对流复合体(MCC)和暴雨天气过程进行诊断分析。结果表明: MCC 是造成暴雨的直接影响系统;200 hPa 中尺度反气旋环流的形成,配合 500 hPa 西南急流左侧切变线生成以及边界层 925 hPa 锋生与西南强风带或西南急流左侧中尺度低涡生成,有利于 MCC 生成和发展;925 hPa 以下边界层  $10.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$  强风速垂直切变的形成,配合边界层正涡度中心生成、对流层高层辐散增强,是激发 MCC 生成和发展的动力机制;850 hPa 江苏中北部  $MPV_1 \leq -0.5$  PVU 的中尺度对流不稳定中心的生成,配合北方  $MPV_2 \geq 0.6$  PVU 湿斜压场纬向高值带的生成和稳定,有利于江苏北部地区中尺度强对流系统重复出现和 MCC 生成发展。

**关键词:**MCC;致洪暴雨;综合分析

中图分类号:P458.1\*21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)01-0001-07

## 1 引言

对我国东部沿海有关暴雨过程,我国气象工作者做了大量研究<sup>[1-6]</sup>。如杨贵名等<sup>[1]</sup>分析了“强降水和黄海气旋”中的干侵入;赵宇等<sup>[2]</sup>对“99.8”山东特大暴雨形成机制作了数值模拟分析;濮梅娟等<sup>[3]</sup>对“03.7”江苏大暴雨凝结潜热进行了数值模拟分析;薛根元等<sup>[4]</sup>对浙江中北部前汛期一次大暴雨过程进行了数值模拟和诊断研究;杨文艳<sup>[5]</sup>等分析了辽宁汛期降水异常的环流因子;陈德花等<sup>[6]</sup>分析了 2006 年 7 月中旬闽、浙一次台风暴雨过程的湿位涡中尺度时空分布特征;田秀霞等<sup>[7]</sup>分析了一次河北大暴雨的华北低涡结构和涡度收支。然而,对致洪暴雨中 MCC 研究比较少见<sup>[8]</sup>。卫星云图观测表明:夏半年,中尺度对流复合体(MCC)在我国东部沿海也经常出现,常造成一些地区暴雨、区域性降雹及毁灭性暴洪事件。因此,加强对我国东部沿海地区 MCC 发生发展规律研究,对防灾减灾具有重要意义。

2008 年 7 月 23 日 08 时(北京时,下同)至 24 日 08 时,江苏中北部地区普降暴雨,部分地方降大暴雨。23 日下午,滨海 6 h 降水量达到 71 mm。由于在短时间内强降水集中,造成江苏中北部一些地方洪涝灾害。依据 MCC 的定义<sup>[9-12]</sup>和对卫星红外云图资料的分析,23 日下午的强降水是由一个典型的 MCC 直接影

响造成的。本文就其生成、发展过程进行综合分析和研究,以对我国东部沿海由 MCC 引发的致洪暴雨预报提供一些有益的依据。

## 2 资料选取及方法

资料包括由 Micaps 提供的卫星云图、实况资料、物理量计算以及 NCEP 资料等。在分析湿位涡时,采用文献[13]给出的计算公式和由北京大学物理学院大气科学系开发的客观分析诊断图形系统。

## 3 MCC 的活动

本文利用每小时一次的 FY-2C 卫星云图资料,对影响 2008 年 7 月 23—24 日江苏中北部暴雨的 MCC 进行初步分析。图 1 给出当年 7 月 23 日不同时刻 FY-2C 气象卫星红外云图上 MCC 的活动情况。

7 月 23 日 14 时(图略),在安徽北部生成一尺度在 100 km 左右的中  $\beta$  尺度强对流云团(图略);当日 16 时(图 1a),云团快速发展,云顶红外亮温  $T_{bb} \leq -32$  °C 的冷云罩面积达到  $10^5 \text{ km}^2$ ,云顶红外亮温  $T_{bb} \leq -53$  °C 的冷云区面积达  $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,MCC 进入初始时刻,同时在 MCC 前方(东侧江苏境内)生成一中  $\beta$  尺度强对流云团;17 时(图 1b),MCC 快速发展,并向江苏中北部延伸,MCC 前方中  $\beta$  尺度强对流云团也快速发展成为点状强对流云团,使滨海县 16—17 时 1 h 降水量达到

收稿日期:2008-11-11;定稿日期:2009-01-08

基金项目:中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室基金项目“黄河中下游和淮河流域 MCC 致洪暴雨的研究”(2007LASW10)资助

作者简介:井喜,男,1957 年生,高级工程师,主要从事短期天气预报工作。E-mail: jingxiailihua@126.com

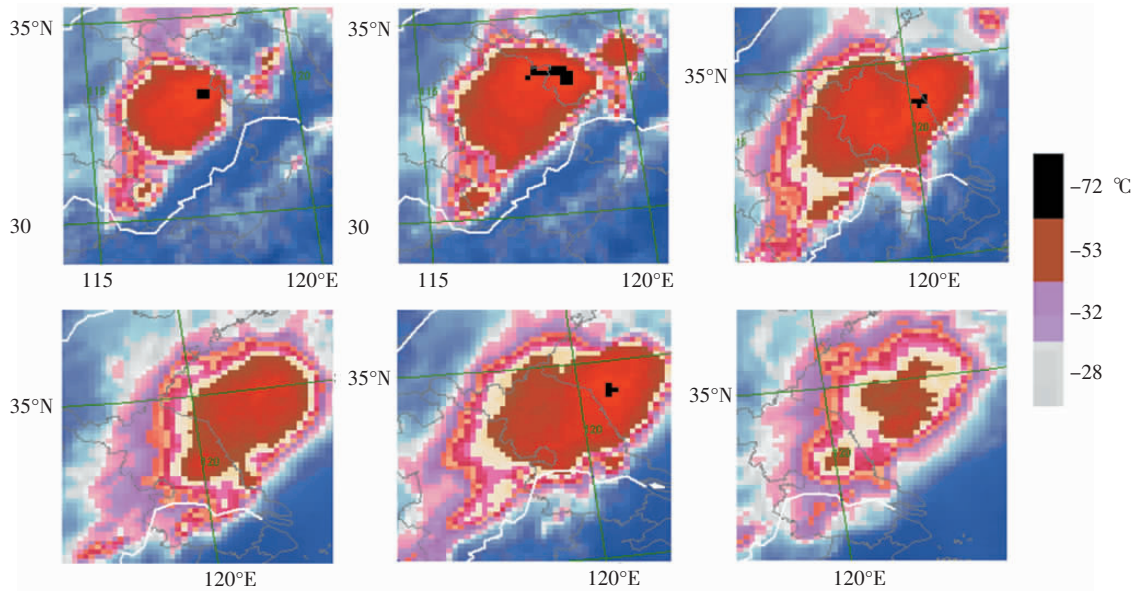


图 1 2008 年 7 月 23 日不同时刻 FY-2C 红外云图上 MCC 的活动(北部、南部白实线分别所示为黄河和长江)  
(a) 16 时; (b) 17 时; (c) 19 时; (d) 20 时; (e) 22 时; (f) 23 时

39.1 mm(图 2);到 19 时(图 1c),MCC 继续缓慢东移且快速发展与前方中  $\beta$  尺度强对流云团合并,云顶红外亮温  $T_{BB} \leq -32$  °C 的冷云罩面积达  $26 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,  $T_{BB} \leq -53$  °C 的冷云区面积达  $12 \times 10^4$  km<sup>2</sup>, 偏心率大于 0.7, MCC 进入鼎盛期;从 17—19 时, MCC 云顶红外亮温  $T_{BB} \leq -53$  °C 的冷云区维持  $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  左右的降水;从 20 时以后(图 1d、e),云顶红外亮温  $T_{BB} \leq -53$  °C 的冷云区面积开始大幅度缩小,对应降水强度大幅度减小(图 2);23 时(图 1f),云顶红外亮温  $T_{BB} \leq -53$  °C 的冷云区面积已小于  $4 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,云团不再具有 MCC 特征,降水停止。

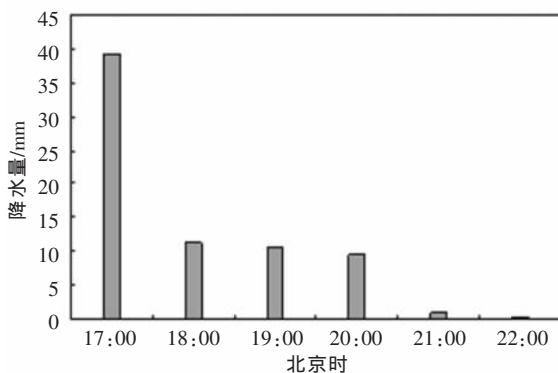


图 2 2008 年 7 月 23 日 16—22 时 MCC 云顶红外亮温  $T_{BB} \leq -52$  °C 影响区内的滨海站逐时雨量(单位: mm)

综上所述,此次江苏中北部地区暴雨过程,降水系统具有明显的 MCC 特征,是一次典型的 MCC 过程, MCC 生命史长达 6 h 以上。

### 4 MCC 生成和发展的条件

#### 4.1 环流背景和中尺度影响系统

7 月 23 日 08 时 200 hPa 等压面上(图略),在 20°

—45°N 青藏高原存在强大的青藏高压,西太平洋副热带高压在日本以东洋面,从河套东面黄河沿线—秦岭东部—川东为一低槽区,槽前从河南—山东为一支西南气流,山东为西南急流区;西南气流右侧的安徽、湖北、江西存在一反气旋环流中心, MCC 发生区位于山东高空急流右侧生成的分支辐散气流区。7 月 23 日 20 时(图 3a),由于 200 hPa 青藏高压进一步加强导致河套东部至川东一带低槽加深,该过程也使位于安徽、湖北、江西的反气旋环流中心移至江苏北部 MCC 发生区上空。

500 hPa 等压面上,从 23 日 08—20 时,西太平洋高压和大陆高压之间在渤海—河南—广西一线形成一低槽区,低槽前从广西—湖南—安徽—江苏北部—朝鲜半岛南部生成一支西南急流(图略)。在 850 hPa 和 925 hPa 等压面上,从 23 日 08—20 时维持东高西低环流形势;23 日 20 时 925 hPa 等压面上(图 3b),山东和江苏之间生成一中尺度低涡,从广西—湖南—安徽—江苏中南部维持一支西南强风带或西南急流;低涡西北部东北风带来的干冷空气和西南气流带来的暖湿气流在江苏中北部地区(MCC 发生区)交汇。

由上分析可知,200 hPa 江苏北部中尺度反气旋环流形成,配合 500 hPa 西南大风轴左侧切变线生成,以及边界层 925 hPa 锋生与西南强风带或西南急流左侧中尺度低涡生成,是有利于 MCC 生成和发展的环流背景。

#### 4.2 能量条件

7 月 23 日 08 时,850 hPa 等压面上(图略),与西南低空急流耦合在安徽境内生成  $\theta_{se} \geq 348$  K 的高能中心,高能舌从安徽伸向江苏中北部,江苏北部(MCC

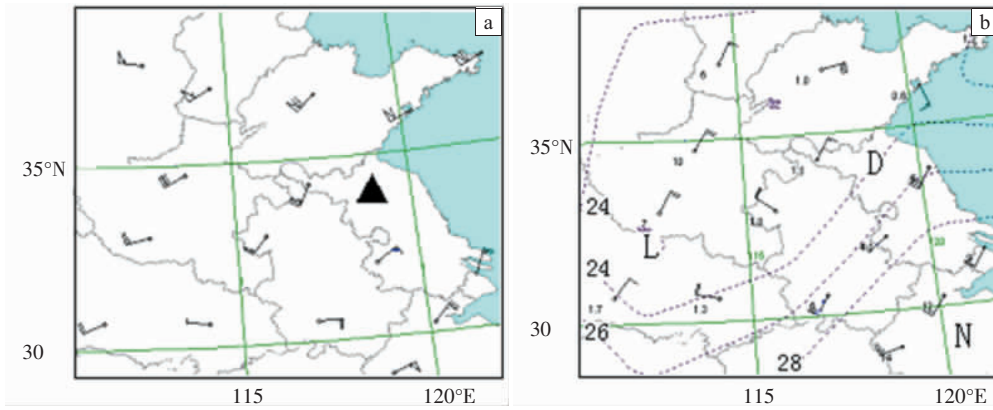


图 3 2008 年 7 月 23 日 20 时 200 hPa 风场(a)、925 hPa 风场与温度场(b)  
(单位: °C; 点线表示等温线; ▲所示为 MCC 中心; 下同)

发生区) $\theta_{se}$  为 344 K;从沿 34°N 经暴雨区的  $\theta_{se}$  纬向剖面图上看到(图 4a),MCC 发生区(120°E)从边界层到 400 hPa 生成一窄的高能管。23 日 20 时(图略),850 hPa 等压面上高能中心东移至浙江,其中心  $\theta_{se}$  值大于 356 K,

MCC 发生区  $\theta_{se}$  值达 348 K, 同时伴随华北高压底部有低能舌向河南伸展,高能中心西北侧有锋生。可见,高能中心西北侧锋生是 MCC 生成和发展的触发机制之一。

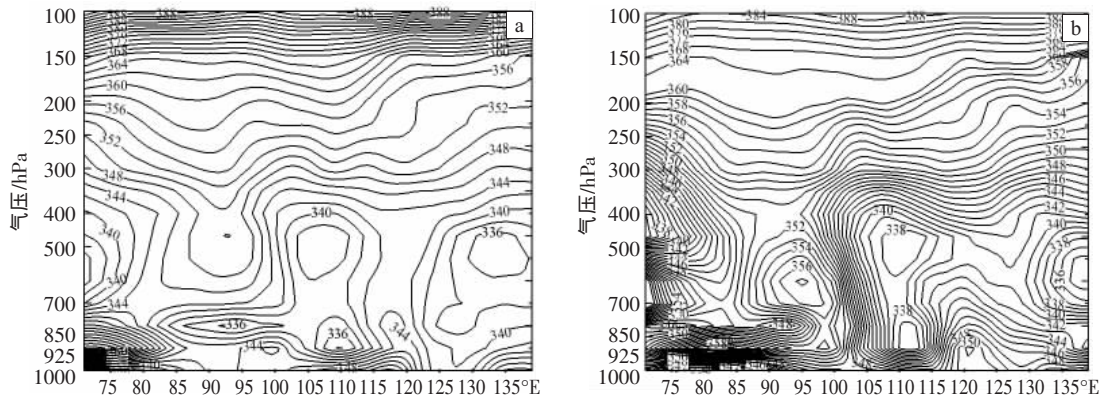


图 4 2008 年 7 月 23 日 08 时(a)、20 时(b)沿 34°N 经暴雨区的  $\theta_{se}$  纬向剖面图(单位: K)

再从 23 日 20 时沿 34°N 经暴雨区的  $\theta_{se}$  纬向剖面图上可见(图 4b),MCC 发生区边界层能量增加的同时,伴随 500—400 hPa 有低能层向东伸向 MCC 发生区,使 MCC 发生区大气层结对流不稳定获得发展,此时 850 hPa 与 500 hPa 的  $\theta_{se}$  之差 $[\Delta\theta_{se(500-850)}]$ 等于

11.1 °C,沙氏指数(S<sub>i</sub>)达-3.6 °C。

另外,从 CAPE 值水平分布图上看到(图略),23 日 14 时,在江苏境内生成向北伸展的 CAPE 高值带,江苏中南部存在 CAPE 大于 3 000 J·kg<sup>-1</sup> 高值中心,江苏北部 MCC 发生区 CAPE 值大于 1 000 J·kg<sup>-1</sup>;23 日

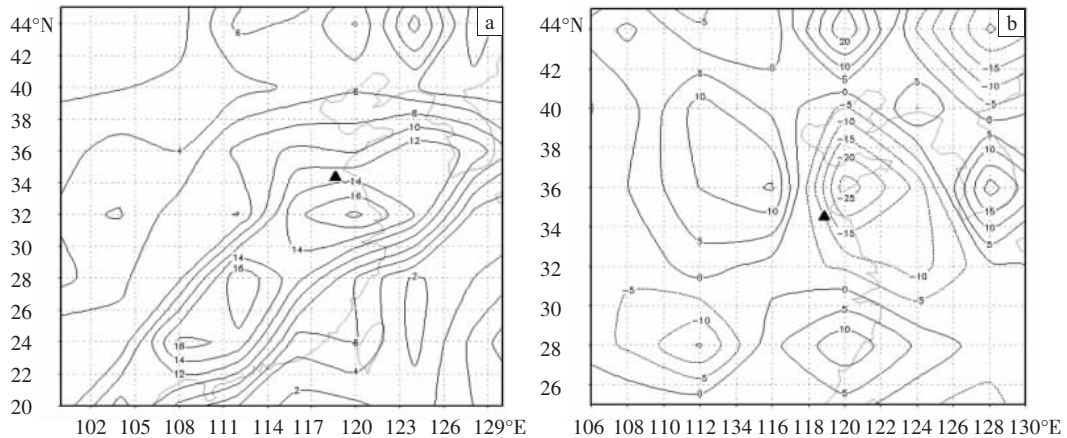


图 5 2008 年 7 月 23 日 20 时 850 hPa 水汽通量场(a,单位:  $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ )和水汽通量散度场(b,单位:  $10^{-7} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ )

20 时(图略),江苏中北部仍存在 CAPE 值大于  $900 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  的高值中心,满足 MCC 生成和发展所需能量条件。

#### 4.3 水汽条件

7 月 23 日 08 时(图略),850 hPa 等压面上,与西南低空急流耦合在安徽生成水汽通量大于  $28 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的高值中心,江苏北部处在西南低空急流前方切变辐合区,其水汽通量达  $14 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,同时处在水汽通量散度小于  $-10\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的水汽辐合区,满足 MCC 发生和发展所需水汽输送条件和水汽辐合条件;400 hPa 等压面上,江苏北部也为一支强西南气流控制,温度露点差小于  $3.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7 月 23 日 20 时,850 hPa 等压面上,与西南低空急流耦合的水汽通量高值中心已移至江苏中南部(图 5a),江苏北部(MCC 发生区)处在低空急流左侧水汽通量辐合区,水汽通量散度小于  $-10\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 5b),也满足 MCC 发生发展所需水汽输送条件和水汽辐合条件;但 400 hPa 等压面上(图略),江苏北部已转为大于  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  偏西气流,随偏西气流而来的干冷空气使江苏北部对流层中层湿度下降,温度露点差达  $6.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;而 925—700 hPa 温度露点差为  $2.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,大气层结变为上干下湿型,增加了江苏北部(MCC 发生区)大气层结不稳定性。

#### 4.4 动力条件

##### 4.4.1 风速、风向垂直切变

这里,以 MCC 影响区内的射阳站获得的资料分析风速和风向的垂直变化。表 1 给出该站各等压面的风向、风速、 $u$  分量。

表 1 2008 年 7 月 23 日 08、20 时射阳站各等压面的风向、风速、 $u$  分量

等压面/ hPa	风向/ $^{\circ}$		风速/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$		$u$ 分量/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	
	08 时	20 时	08 时	20 时	08 时	20 时
100	20	0	2	0	-0.6	0.0
150	280	0	14	0	13.7	0.0
200	270	0	10	0	10.0	0.0
250	290	0	6	0	5.6	0.0
300	290	270	8	10	7.9	10.0
400	250	250	8	12	7.5	11.2
500	225	210	16	18	11.3	9.0
700	200	210	12	22	3.7	11.0
850	200	210	6	20	1.9	10.0
925	180	225	10	16	0.0	11.3
地面	150	250	2	4	-1.0	3.8

从表 1 中可见,MCC 发生前(23 日 08 时),从地面到 850 hPa 风向随高度顺转  $50^{\circ}$ ,925 hPa 为  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的偏南风,具有有利于多单体风暴产生的风速和风向切变特征<sup>[4]</sup>;从地面到 500 hPa  $u$  分量差值大于  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

具有可触发雹暴等强对流天气产生的条件<sup>[15]</sup>。MCC 发生时(23 日 20 时),从地面到 850 hPa 风向随高度逆转,有冷平流,边界层冷空气活动对 MCC 生成、发展起到动力抬升作用;由  $u$  分量可知,地面到 925 hPa 风速切变特别大,达  $10.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ,有利于加强风暴的旋转潜势<sup>[15]</sup>;值得注意的是,将 850 hPa 作为云体底部、300 hPa 作为云体上部,云体内风速差别很小。

##### 4.4.2 涡度、散度和垂直速度

从 7 月 23 日 08 时沿  $34^{\circ}\text{N}$  经暴雨区的散度(图 6a)、涡度(图 6c)、垂直速度(图 6e)纬向剖面图上可见, $120^{\circ}\text{E}$  附近大气运动以辐合辐散为主要特征,对流层中低层辐合深厚,850 hPa 以下边界层有一散度达  $-12\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的辐合中心;对流层高层辐散深厚,200 hPa 附近有一散度达  $20\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的强辐散中心;涡度场与散度场的有利配置使  $120^{\circ}\text{E}$  附近大气整层出现上升运动,强上升运动中心位于 600 hPa 附近,其垂直速度( $\omega$ )小于  $-3.6\times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,这为当日 05—16 时第一次中尺度强对流云团活动、江苏北部和山东半岛南部出现第一次暴雨(江苏北部 6 h 最大降水量达 66 mm)提供了有利的动力条件。

从 7 月 23 日 20 时沿  $34^{\circ}\text{N}$  经暴雨区的散度(图 6b)、涡度(图 6d)、垂直速度(图 6f)纬向剖面图上可见, $120^{\circ}\text{E}$  附近大气运动仍以辐合辐散为主要特征,但边界层正涡度有所发展,其正涡度中心量值为  $4\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ;对流层高层散度也有所发展,强辐散中心位于 180 hPa 附近,其中心值为  $26\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ;这种涡度场和散度场配置使  $120^{\circ}\text{E}$  附近上空维持强上升运动,其强中心位于 300 hPa 附近,中心量值达  $-3.2\times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,这为第 2 次中尺度对流云团活动、江苏北部 MCC 生成发展提供了有利的动力条件。

## 5 湿位涡与 MCC 的生成与发展

在绝热无摩擦的饱和大气中湿位涡也具有守恒性,在  $p$  坐标下忽略  $\omega$  的水平变化,等压面湿位涡的表达式:

$$MPV = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} + g \left( \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) = \text{const} \quad (1)$$

将其写成分量形式,有

$$MPV_1 = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} \quad (2)$$

$$MPV_2 = g \left( \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right) \quad (3)$$

其中  $MPV_1$  为湿正压项,表示惯性稳定性( $\zeta_p + f$ )和对流稳定性 $[-g(\partial \theta_{se} / \partial p)]$ 的作用,在北半球大气对流不稳定时, $MPV_1 < 0$ ;若大气对流稳定时, $MPV_1 > 0$ 。 $MPV_2$  为湿斜压项,包含了湿斜压性( $p\theta_{se}$ )和水平风垂直切变

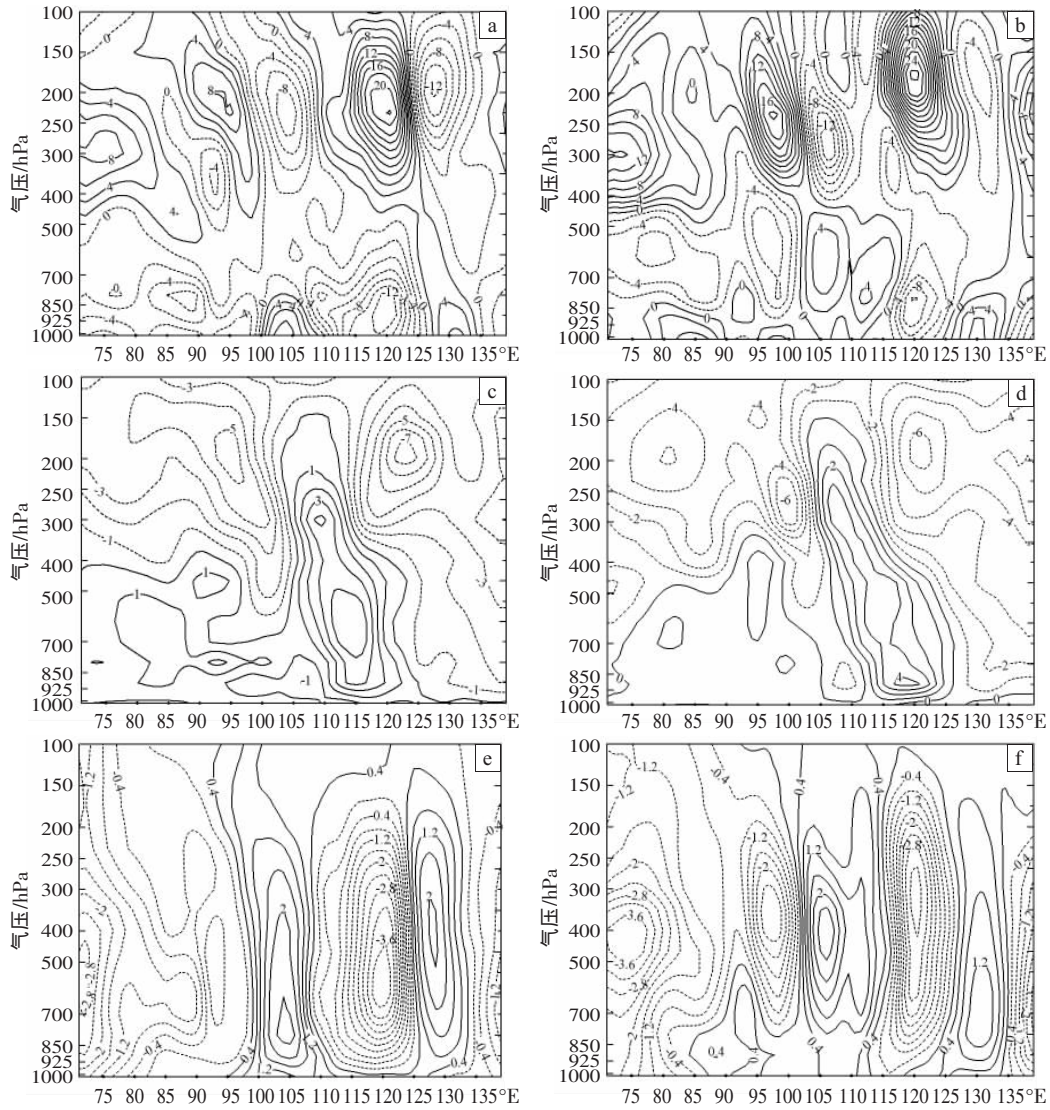


图 6 2008 年 7 月 23 日 08 时沿 34°N 经暴雨区的散度(a)、涡度(c)、垂直速度(e)纬向剖面图, 以及 23 日 20 时沿 34°N 经暴雨区的散度(b)、涡度(d)、垂直速度(f)纬向剖面图  
(单位: 散度、涡度为  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 垂直速度为  $10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ )

的贡献。湿性涡的单位为 PVU,  $1\text{PVU}=10^{-6} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{k}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

图 7 给出沿 34°N 经暴雨区的 MPV 垂直剖面图。23 日 08 时(图 7a), MCC 发生区上游(112°E 附近)对流

层高层有正 MPV 高值舌向对流层中低层伸展; 23 日 20 时(图 7b), MCC 发生区上游对流层高层正 MPV 高值舌向对流层中低层伸展的同时, 也有正 MPV 高值

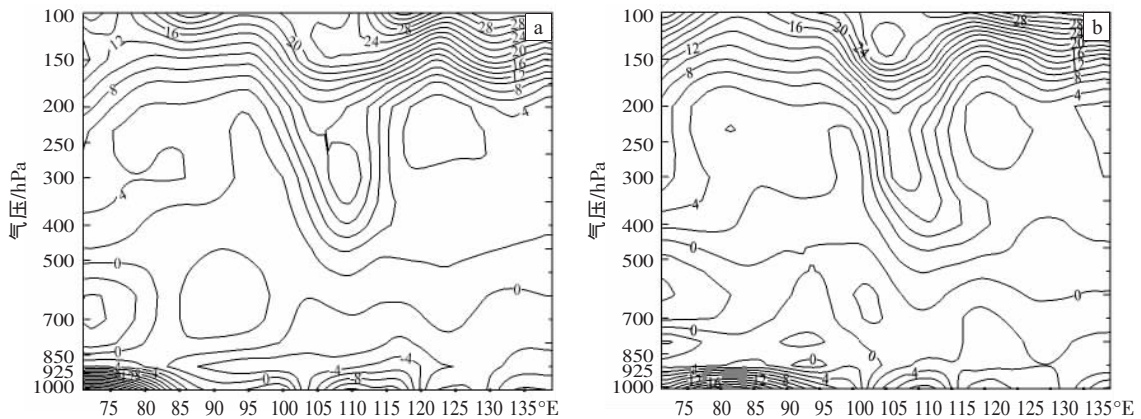


图 7 2008 年 7 月 23 日 08 时(a)、20 时(b)沿 34°N 经暴雨区的 MPV 垂直剖面图(单位:  $10^{-7} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{k}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

舌从 400 hPa 附近向东伸向 MCC 发生区, 有利于 MCC 发生区对流层低层气旋性涡度发展<sup>[6]</sup>; 这从图 6d 中也可得到证实, 23 日 20 时, MCC 发生区 850 hPa 以下边界层正涡度获得发展, 并生成  $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的正涡度中心。

分析湿正压场  $MPV_1$  和湿斜压场  $MPV_2$  可知, 23 日 08 时(图略), 有一  $MPV_1 \leq -0.5 \text{ PVU}$  的中尺度对流不稳定中心从黄海伸向江苏北部, 山东境内有一  $MPV_2 \geq 0.6 \text{ PVU}$ 、小于两个经距的纬向湿斜压高值带生成, 此时湿正压场与湿斜压场的配置, 对应江苏北部和山东

第一次中尺度强对流云团活动和暴雨形成。从 23 日 14 时 850 hPa  $MPV_2$  水平分布场可见(图 8b), 江苏北部(山东境内) 纬向湿斜压高值带稳定, 江苏中部生成  $MPV_1 \leq -0.5 \text{ PVU}$  的中尺度对流不稳定中心(图 8a), 此时湿正压场和湿斜压场的配置, 对应第二次中尺度强对流云团的活动和江苏北部 MCC 生成以及江苏北部第二次暴雨形成; 23 日 20 时(图略), 江苏中北部地区仍然维持  $MPV_1 \leq -0.5 \text{ PVU}$  的中尺度对流不稳定中心, 但山东境内  $MPV_2 \geq 0.6 \text{ PVU}$  的纬向湿斜压高值带消失, 对应雨强快速减小, 2 h 以后 MCC 减弱消失。

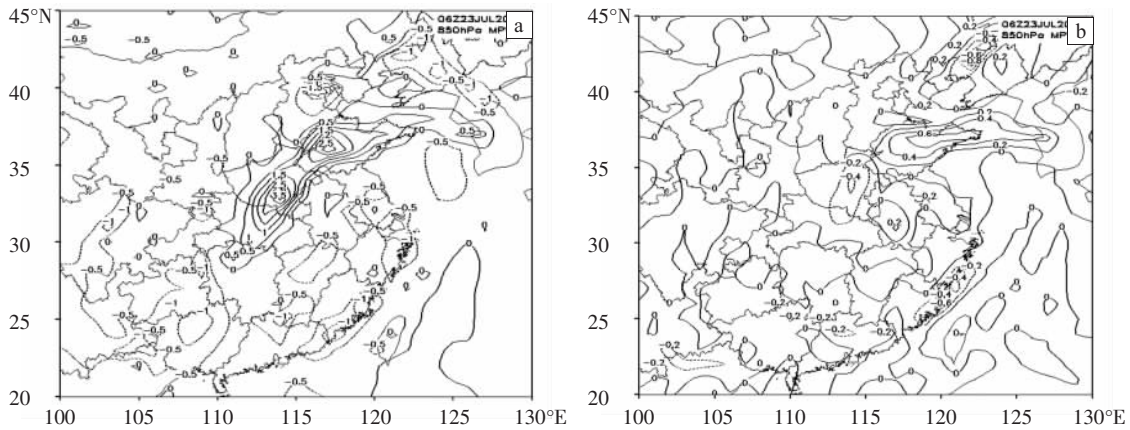


图 8 2008 年 7 月 23 日 14 时 850 hPa  $MPV_1$  (a)、 $MPV_2$  (b) 水平分布场 (单位:  $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{k} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

显然, 江苏中北部地区  $MPV_1 \leq -0.5 \text{ PVU}$  的中尺度对流不稳定中心的生成, 配合江苏北部(山东境内)  $MPV_2 \geq 0.6 \text{ PVU}$  的湿斜压场纬向高值带的生成和稳定, 是一种十分有利于中尺度强对流云团活动与 MCC 生成、发展的湿正压场和湿斜压场配置形式。

### 6 结论

本文利用卫星云图、NCEP 资料和 MICAPS 系统提供的实况资料和物理量场资料等, 对 2008 年 7 月 23 日发生在江苏北部的一次中尺度对流复合体(MCC) 和暴雨天气过程进行了综合诊断分析, 得出以下结论。

(1) 200 hPa 中尺度反气旋环流的形成, 配合 500 hPa 西南大风轴左侧切变线生成以及边界层 925 hPa 锋生、西南强风带或西南急流左侧中尺度低涡生成, 是有利于 MCC 生成和发展的环流背景。

(2) MCC 发生区边界层能量增加的同时, 伴随 500—400 hPa 有低能层向东伸向 MCC 发生区, 使 MCC 发生区大气层结对流不稳定获得发展; 江苏中北部 CAPE 值高值中心的生成和稳定, 为 MCC 的生成和发展提供了能量条件。

(3) 925 hPa 以下边界层  $10.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$  强风速顺时针垂直切变, 配合边界层正涡度中心及对流层高层辐散增强, 是激发 MCC 生成和发展的动力机制之一。

(4) 江苏中北部  $MPV_1 \leq -0.5 \text{ PVU}$  的中尺度对流不稳定中心的生成, 配合北方  $MPV_2 \geq 0.6 \text{ PVU}$  的湿斜压场纬向高值带的生成和稳定, 是有利于江苏北部中尺度强对流系统重复出现以及 MCC 生成发展的湿正压场和湿斜场配置形式。

### 参考文献:

- [1] 杨贵名, 毛冬艳, 姚秀萍. “强降水和黄海气旋”中的干侵入分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 16-28.
- [2] 赵宇, 龚佃利, 刘诗军, 等. “99.8”山东特大暴雨形成机制的数值模拟分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 95-104.
- [3] 濮梅娟, 沈树勤, 夏英, 等. “03.7”江苏大暴雨凝结潜热的数值模拟[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 333-343.
- [4] 薛根元, 陈丽芳, 诸晓明. 浙江中北部汛期一次大暴雨的数值模拟及诊断分析[J]. 高原气象, 2007, 26(1): 176-186.
- [5] 杨文艳, 王谦谦. 辽宁汛期降水异常的环流因子分析[J]. 高原气象, 2006, 25(5): 969-974.
- [6] 陈德花, 寿绍文, 张玲, 等. “碧利斯”引发强降水过程的湿位涡诊断分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(1): 37-41.
- [7] 田秀霞, 邵爱梅. 一次河北低涡大暴雨的华北涡结构和涡度收支分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(4): 320-325.
- [8] 柳林, 张国胜. 鲁西北中尺度对流复合体环境场特征[J]. 气象, 2000, 26(11): 40-44.
- [9] Maddox R A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes [J]. Mon Wea Rev, 1983,

- 111:1475–1493.
- [10] Augustine J A, Howard K W. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987 [J]. *Mon Wea Rev*, 1991, 119: 1575–1589.
- [11] Miller D, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in the west Pacific region [J]. *Mon Wea Rev*, 1991, 119: 2978–2992.
- [12] Maddox R A. Mesoscale Convective Complexes [J]. *Bull Am Meteor Soc*, 1980, 61: 1374–1387.
- [13] 井喜,李栋梁,李明娟,等.青藏高原东北侧一次突发性大暴雨环境场综合分析[J].*高原气象*,2008,27(1):46–57.
- [14] 胡明宝,高太长,汤达章.多普勒雷达资料分析与应用[M].北京:解放军出版社,2000:170–180.
- [15] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006:95–163.
- [16] 寿绍文,励申申,姚秀萍.中尺度气象学[M].北京:气象出版社,2003: 278–284.

## Analysis of Flooding Rainstorm Caused by MCC Over North Jiangsu Province

JING Xi<sup>1,2</sup>, FAN Cun-yong<sup>3</sup>, WANG Xun<sup>4</sup>, WAN Hong-wei<sup>2</sup>, LAN Xin-zhe<sup>5</sup>

(1.State Key Laboratory of Disaster Weather in CAMS, Beijing 100081;

2.Yulin Meteorological bureau of Shanxi Province, Yulin 719000;

3.Lianyungang Meteorological bureau of Jiangsu Province, Lianyungang 2222006;

4.Binhai Meteorological bureau of Jiangsu Province, Binhai 224500;

5.Yulin Municipal Government of Shanxi Province, Yulin 719000)

**Abstract:** Using the synoptic data such as satellite image, Doppler radar and upper wind, the flooding rainstorm in the north area of Jiangsu province on July 23, 2008 caused by MCC is analyzed by large-scale environment field and physical quantity. MCC effects the rainstorm directly. The mesoscale anticyclogenesis at 200 hPa coupling with the mesoscale cyclone generating on the left side of the southwest low-level jet, frontogenesis at 925 hPa and southwest gale band or the mesoscale low vortex at the left side of the southwest jet stream are help to make MCC and develop circumfluence. The strong vertical wind shear with  $10.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$  appears below 925 hPa, the formation of the positive vorticity center at the boundary layer and the divergence enhancing at the upper troposphere are the triggering mechanisms for MCC. The mesoscale convective instable center with  $MPV_1 \leq -0.5 \text{ PVU}$  at 850 hPa on the middle-north area of Jiangsu province and the high value belt of the moist baroclinic over the north side of Jiangsu province are in favor of the generation and development of MCC and presenting the mesoscale system repetitively.

**Key words:** MCC; Rainstorm; Comprehensive analysis