

黄海及周边地区 α 中尺度对流系统 发生的环境条件*

郑永光 陶祖钰 王洪庆

(北京大学物理学院大气科学系暴雨监测和预测国家重点实验室, 北京, 100871)

Lee Dong-Kyou Wee Tae-Kwon

(韩国汉城国立大学大气科学系, 汉城, 151-742)

OH Jae-Ho

(韩国气象研究所, 汉城, 151-742)

摘 要

使用日本 GMS-5 静止卫星红外云图普查了 1993 年 7、8 月份黄海及周边地区 α 中尺度对流系统(MaCS) 的发生情况, 并用合成和客观分析诊断的方法考察 MaCS 两个活跃期和两个静寂期的大尺度环境场的热力和动力条件。结果表明, MaCS 活跃期和静寂期的合成诊断场有显著的不同, 从而揭示了黄海地区发生 MaCS 的环境条件主要为: ①低层为高相当位温的暖湿空气; ②中低层的条件性不稳定的大气层结及暖平流; ③强而稳定的西南低空急流; ④低层的辐合及中层不太强的上升运动; ⑤副热带西风急流出口区右侧的高层辐散。

关键词: α 中尺度对流系统, 环境条件, 黄海。

1 引 言

α 中尺度对流系统(以下简称 MaCS) 常引起突发性洪水。Merritt 和 Fritsch^[1] 曾对 100 个引发北美洪水的中尺度对流复合体(简称 MCC, 是一种特定的 α 中尺度对流系统^[2]) 进行了考察。Merritt 和 Fritsch 指出, 条件性不稳定的大气环境、地面到 500 hPa 风向随高度明显顺时针转变的环境风场、低空强而湿的偏南气流、低空暖平流和水汽辐合, 以及 200~300 hPa 高空西风急流右侧的风速反气旋式切变及发散流场等是 MCC 发生的大尺度环境条件。Augustine 和 Howard^[3] 对 1986 和 1987 年美国的 MCC 活跃期和静寂期的大尺度环境场进行了合成对比分析, 再次肯定了 MCC 发生的基本条件是低层的热力强迫和条件性不稳定, 但没有给出有利于 MCC 发生的动力场。方宗义^[4]、李玉兰等^[5]

和项续康等^[6] 对 MaCS, MCC 和中尺度暴雨云团发生的大尺度环流背景分别进行了研究。通过个例的归纳, 他们指出这些中尺度对流系统经常发生在准静止锋的西端、高温高湿的西南风低空急流的最北端和 500 hPa 短波槽的前方。陶祖钰等^[7] 对造成 1996 年 8 月河北特大洪涝的暴雨进行了诊断分析, 指出高空辐散、低空辐合和行星边界层大量的水汽辐合导致了中尺度对流系统的发生。

在中纬度地区, MaCS 主要集中发生在大陆上, 特别是大地形的下风方, 例如北美洛矶山下风方的大平原^[8]、亚洲青藏高原下风方的盆地地区^[9] 和南美安第斯山脉下风方的平原^[10]。虽然热带海洋上常有 MaCS 发生, 但是中纬度海洋几乎没有 MaCS 发生。例如, 大西洋的中纬度地区就没有发现 MCC, 在黄海地区仅发现几个 MCC。最近, 马禹等^[11] 发现, 长江和黄河下游地区虽然距离青藏高原

* 初稿时间: 2000 年 10 月 27 日; 修改稿时间: 2001 年 1 月 9 日。

资助课题: 高等学校重点实验室访问学者、973 项目(G1998040907)、北京大学博士论文创新资助、国家攀登专项(95-专-03) 课题和韩国科学技术部的资助及韩国“黄海剧烈天气的分析与预报(YS02-A)” 项目的部分资助。

较远,但也是东亚 MaCS 的多发区之一。值得注意的是,这个 MaCS 多发区也包括了黄海及其周边地区。这说明东亚地区的 MaCS 可以生成于邻近大陆的海洋上,这是与北美和南美等其它大陆所不同的。黄海地区西面为中国大陆、北面是朝鲜半岛、东面为日本群岛,这种独特的自然地理环境似乎是 MaCS 多发的重要原因。但是到目前为止还没有人对黄海及其周边地区 MaCS 的发生条件进行过研究。

本文通过对 1993 年夏季 GMS 卫星红外云图中 MaCS 的普查发现,黄海及周边地区的 MaCS 也存在同北美 MCC 类似的活跃期和静寂期^[3],其持续时间为 4~7 d。文中试图通过对 MaCS 活跃期和静寂期大尺度环流背景的合成和诊断分析来揭示黄海地区发生 MaCS 的动力学条件和热力学条件。

2 资料和方法

使用的资料序列是 1993 年 6~8 月 GMS 卫星的数字红外云图和常规地面资料及探空资料。研究的范围为 28~40°N 和 115~130°E 之间的区域并称

之为黄海及周边地区,它包括黄河和长江下游、黄海、东海北部及朝鲜半岛南部。为了使本文的研究结果具有代表性,定义卫星云图上椭圆形冷云罩(云顶黑体温度 $TBB < -32^{\circ}\text{C}$)的水平尺度(椭圆的短轴长)达到 2 个纬度以上的对流云团为一个 MaCS。对黄海地区的 MaCS 普查发现,1993 年 7 和 8 月共有两个 MaCS 的活跃期,分别为 7 月 10~13 日和 8 月 1~6 日,在此期间黄海地区有大量 MaCS 发生。

7 月份活跃期的 4 d 中黄海地区共发生了 16 个 MaCS,图 1a 给出了它们成熟时(最大水平尺度)的地理分布。这 16 个 MaCS 集中分布在 34~38°N 的纬度带内。其中 5 个 MaCS (图中用星号表示)符合 Maddox^[2]提出的 MCC 标准。图 1c 显示在 7 月 12 日 18 时 34 分 UTC 的卫星云图上 35°N 附近有 5 个 MaCS 紧密地排列在一起,其中最大的一个位于朝鲜半岛南部,且符合 MCC 的标准。

8 月份的活跃期长达 7 d,黄海地区共发生了 22 个 MaCS,其中有 9 个达到 MCC 标准。从图 1b 可以看出,它们集中分布在长江下游和黄海地区的南部。

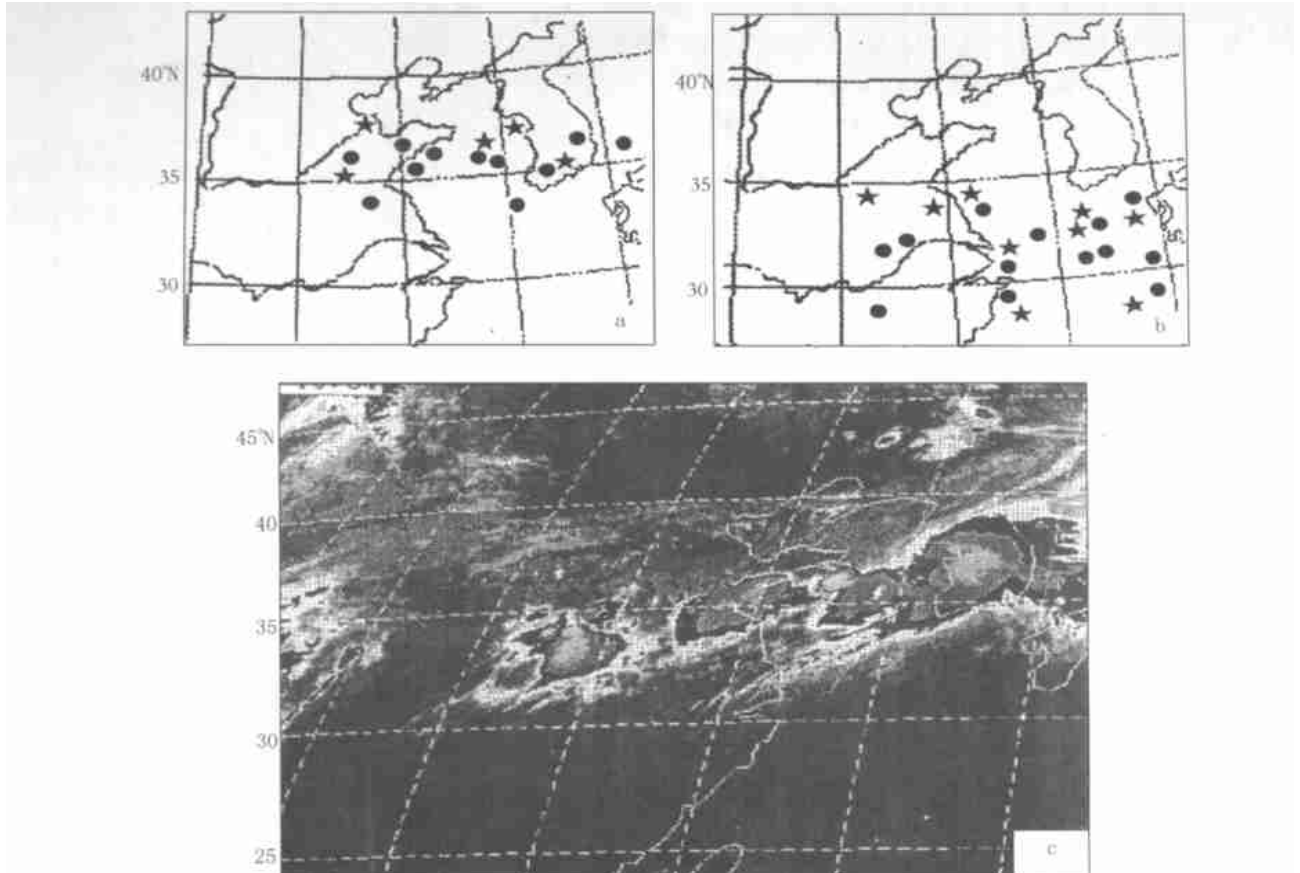


图 1 1993 年 7 月份活跃期 MaCS 的分布(a)和 1993 年 8 月份活跃期 MaCS 的分布(b)以及 1993 年 7 月 12 日 18 时 34 分 UTC GMS 卫星的红外增强云图(c) (星号表示符合 MCC 标准的 MaCS)

为了探讨 MaCS 的发生条件, 对这两个活跃期分别进行了合成和诊断分析。首先对两个活跃期的常规测站资料分别进行简单平均, 然后对平均的测站资料进行诊断分析, 计算出代表活跃期大尺度环境条件的各种物理量的网格点场。分析范围以 35°N , 120°E 为中心, 网格数为 31×25 , 网格距为 150 km。

作为对比, 选取了两个黄海地区基本上没有 MaCS 活动的静寂期, 它们是 7 月 19~23 日和 8 月 7~11 日。对静寂期也用相同的方法进行了合成和诊断分析。

3 MaCS 活跃期和静寂期的环境条件比较

图 2a 是 7 月份 MaCS 活跃期 (10~13 日) 的地面合成形势, 图中显示 35°N 有一条弱切变线穿过黄河下游、黄海、朝鲜半岛南部和日本中部。在切变线的南侧, 强大的西太平洋副热带高压西伸到中国南部, 西南气流控制了 35°N 以南的中国大陆。切变线的北侧为东北冷涡和日本海的一个弱高压脊, 冷涡后为东北气流, 高压脊后为东南气流。地面形势表明 MaCS 发生在副热带高压边缘的气旋式辐合流场中。

850 hPa 的合成相当位温场 (图 2b) 中南方有一宽阔的暖湿舌从中国中部东伸至日本西部, 北方有一干冷舌从日本北部伸向中国的东北, 另一干冷舌从蒙古东部伸向华北北部。黄海及周边地区等相当位温线密集, 存在一条能量锋区。图中还给出了用 500 hPa 相当位温 θ_e 减 850 hPa 相当位温 θ_e 所表征的条件稳定度。黄海和周边地区的数值在 -6K 左右, 显示出对流层下部大气层结是不稳定的。MaCS 就发生在大气层结条件性不稳定的相当位温锋区内。

850 hPa 合成风场 (图 2c) 中黄河以南不少测站的合成风速达到 12m/s 以上, 这表明在 MaCS 活跃期间低空西南急流不仅非常强, 而且位置也相当稳定。图中同时给出的 850 hPa 合成温度平流分布显示, 一个中心强度达 $6 \times 10^{-5}\text{C/s}$ 的暖平流区覆盖了整个黄海地区。这表明触发 MaCS 的上升运动是由对流层低层的准地转过程强迫出来的。根据热成风关系, 暖平流区地面到高空 500 hPa 环境风向为顺时针转变, 而这已经被确认为 MCC 活跃期环境场的特征之一。

从水汽通量矢量场 (图 2e) 上可以看到从南海北部经长江中游到黄海有一条明显的水汽输送带,

它表明低空急流向黄海地区输送了大量的暖湿空气。图中给出的水汽通量散度进一步表明, 在黄海地区及东海的西部有一片很强的水汽通量辐合区, 其中心数值达到 $-100 \times 10^{-9}\text{g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$, 它为 MaCS 的发展提供了充足的水汽。

500 hPa 合成垂直速度 (ω) 场 (图 2f) 中, 在黄海地区西部有一个不太大的上升运动区, 其强度也只达到 $5 \times 10^{-3}\text{hPa/s}$ 。它表明在大尺度环境场中, MaCS 发生区的上升运动并不很强。

200 hPa 合成分析图 (图 2d) 上, 有一支高空副热带西风急流位于 35°N 以北, 黄海地区位于副热带西风急流出口区右侧的偏西气流和南亚副热带高压脊北侧西北气流之间的辐散流场中。散度的计算结果表明, 它所对应的最大辐散量级达到 10^{-5}s^{-1} 。另一方面, 黄海地区上空 200 hPa 层的正相对涡度平流数值也较大 (图略), 这说明在此 MaCS 活跃区高层的准地转强迫作用也是比较重要的。

7 月份 MaCS 活跃期一个星期之后是 MaCS 的静寂期 (7 月 19~23 日)。从静寂期的合成分析场 (图 3) 可以看出大尺度环境场明显不同于活跃期。在地面合成形势图 (图 3a) 上强大的高压脊控制了整个黄海地区, 日本和朝鲜半岛的冷空气向西伸展到黄海地区和中国中部。它使得黄海上空的气团非常稳定, 如图 3b 所示, 500 hPa 的 θ_e 比 850 hPa 的 θ_e 高 $6\sim 12\text{K}$, 非常不利于对流系统发生。

在 850 hPa 温度平流场 (图 3c) 上黄海地区为冷平流所控制, 它所伴随的下沉运动抑制了该地区的对流活动。在图 3d 的 200 hPa 合成形势图上, 黄海地区位于高空副热带急流出口区的风速辐合区中, 也不利于对流系统在黄海地区发展。

总之, 对比 7 月份 MaCS 活跃期和静寂期的大尺度环境条件可以发现, 黄海地区 MaCS 发生在高 θ_e 地区的西北边缘等 θ_e 线密集地带。发生 MaCS 的大尺度环境条件是条件性不稳定大气层结, 充足的水汽供应, 西南低空急流相伴随的暖平流和对流层上层西风急流出口区右侧较强的辐散, 这与北美大山脉下风方内陆地区发生 MCC 的条件很相似。

8 月 1~6 日 MaCS 活跃期的大尺度环流形势略微不同于 7 月 10~13 日, 如前者地面合成形势图 (图 4a) 上有一个低压槽从江苏沿海向东延伸到日本南部, 横穿过 MaCS 的集中区域。但在发生 MaCS 的条件方面, 两者是很相似的。例如, 中国南

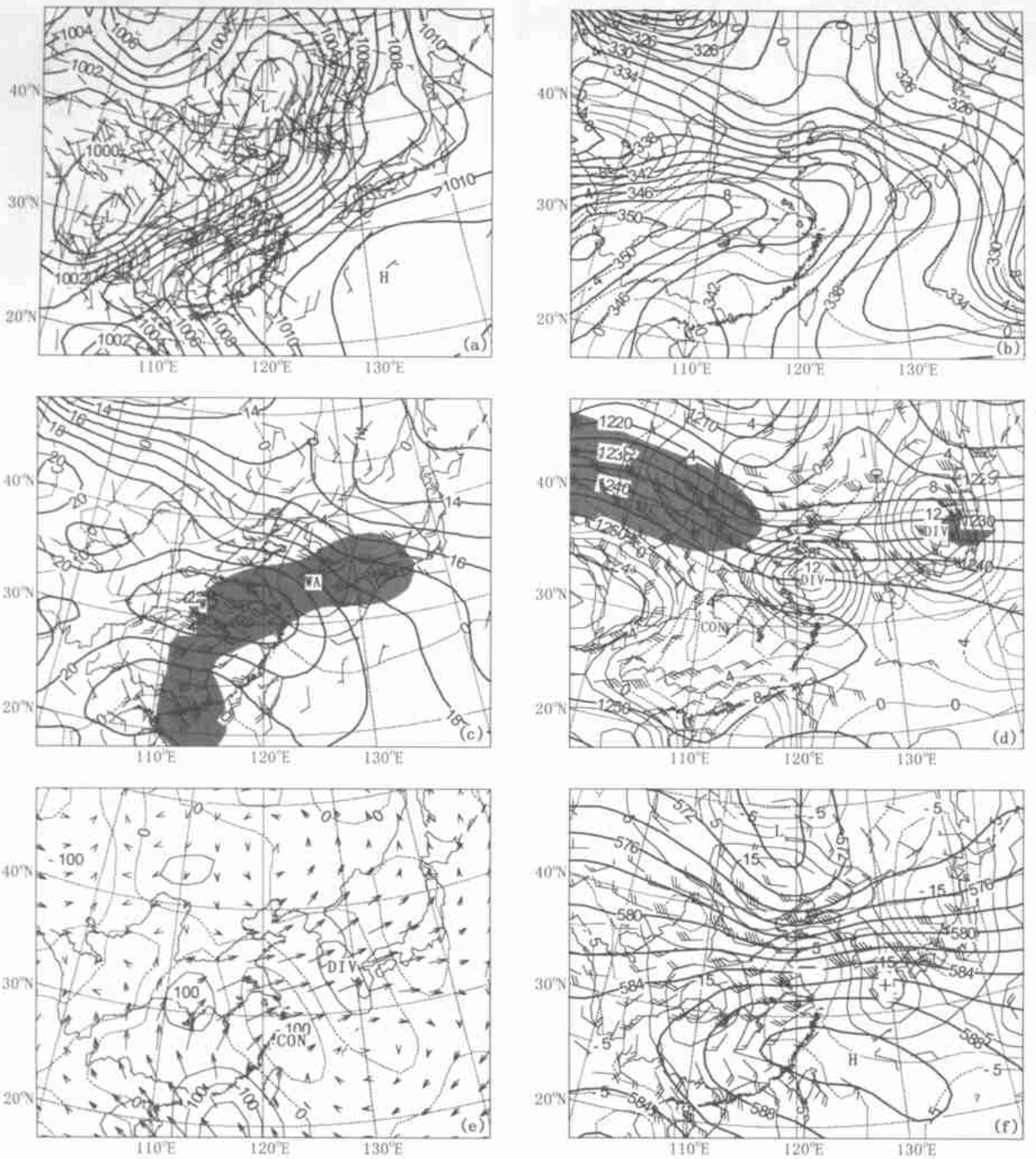


图2 1993年7月10~13日活跃期的合成环流形势和物理量诊断场

(a. 海平面气压场和地面风场(等值线间隔: 1 hPa); b. 850 hPa 相当位温 θ_e 场(等值线间隔: 2 K, 粗实线) 和条件性稳定度 $\theta_{e500} - \theta_{e850}$ (等值线间隔: 2 K, 细虚线 ≤ 0 , 细实线 > 0); c. 850 hPa 合成风场、温度场(等值线间隔: 1 $^{\circ}\text{C}$, 粗实线) 和温度平流场(等值线间隔: $2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C/s}$, 细虚线 ≤ 0 , 细实线 > 0) 及低空急流(阴影区: 风速 $\geq 10 \text{ m/s}$); d. 200 hPa 位势高度场(等值线间隔: $5 \times 10 \text{ gpm}$, 粗实线) 和散度场(等值线间隔: $2 \times 10^{-6} / \text{s}$, 细虚线 ≤ 0 , 细实线 > 0) 及高空急流(阴影区: 风速 $\geq 30 \text{ m/s}$); e. 850 hPa 水汽通量矢量场和水汽通量散度场(等值线间隔: $50 \times 10^{-9} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$, 细虚线 ≤ 0 , 细实线 > 0); f. 500 hPa 位势高度场(等值线间隔: $2 \times 10 \text{ gpm}$, 粗实线) 和垂直速度(ω) 场(等值线间隔: $1 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$, 细虚线 ≤ 0 , 细实线 > 0)。W 表示暖中心, C 表示冷中心, WA 表示暖平流中心, CA 表示冷平流中心, CON 表示辐合中心, DIV 表示辐散中心)

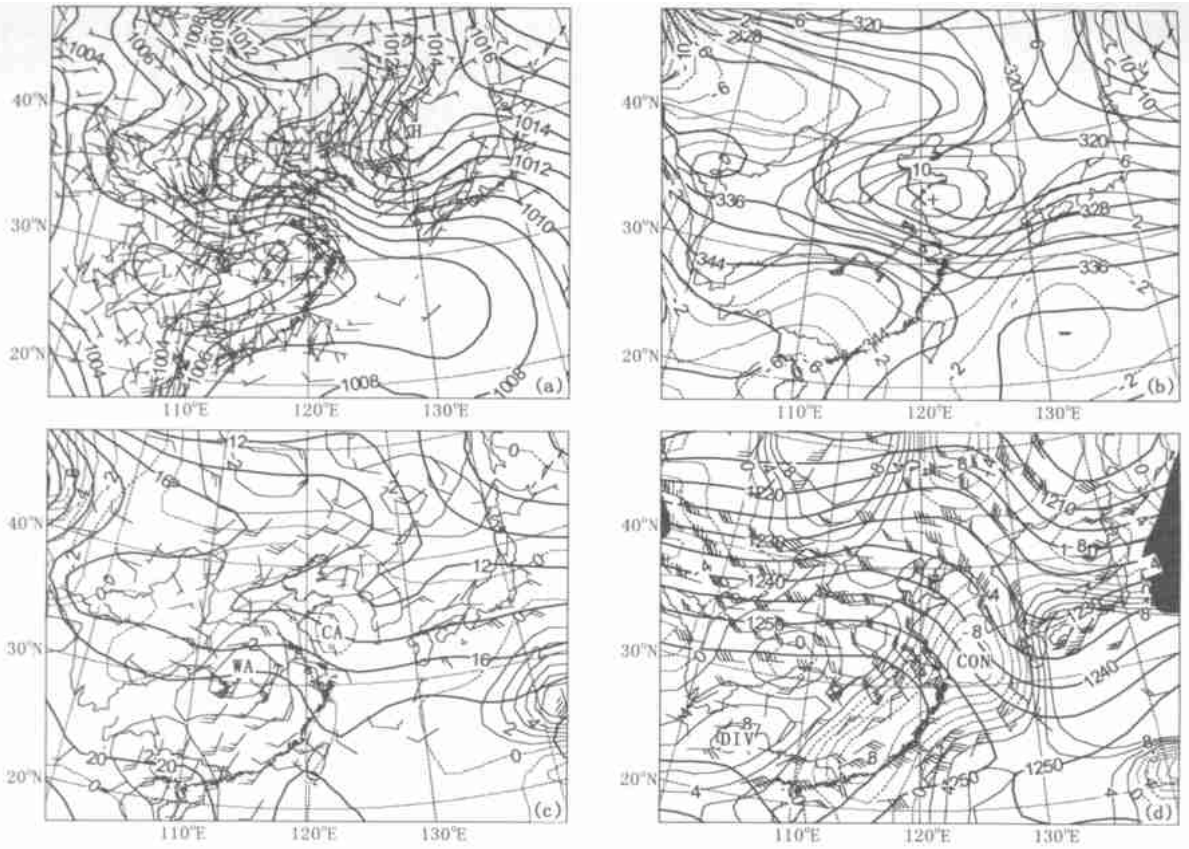


图 3 1993 年 7 月 19~23 日静寂期的合成环流形势和物理量诊断场(说明同图 2)

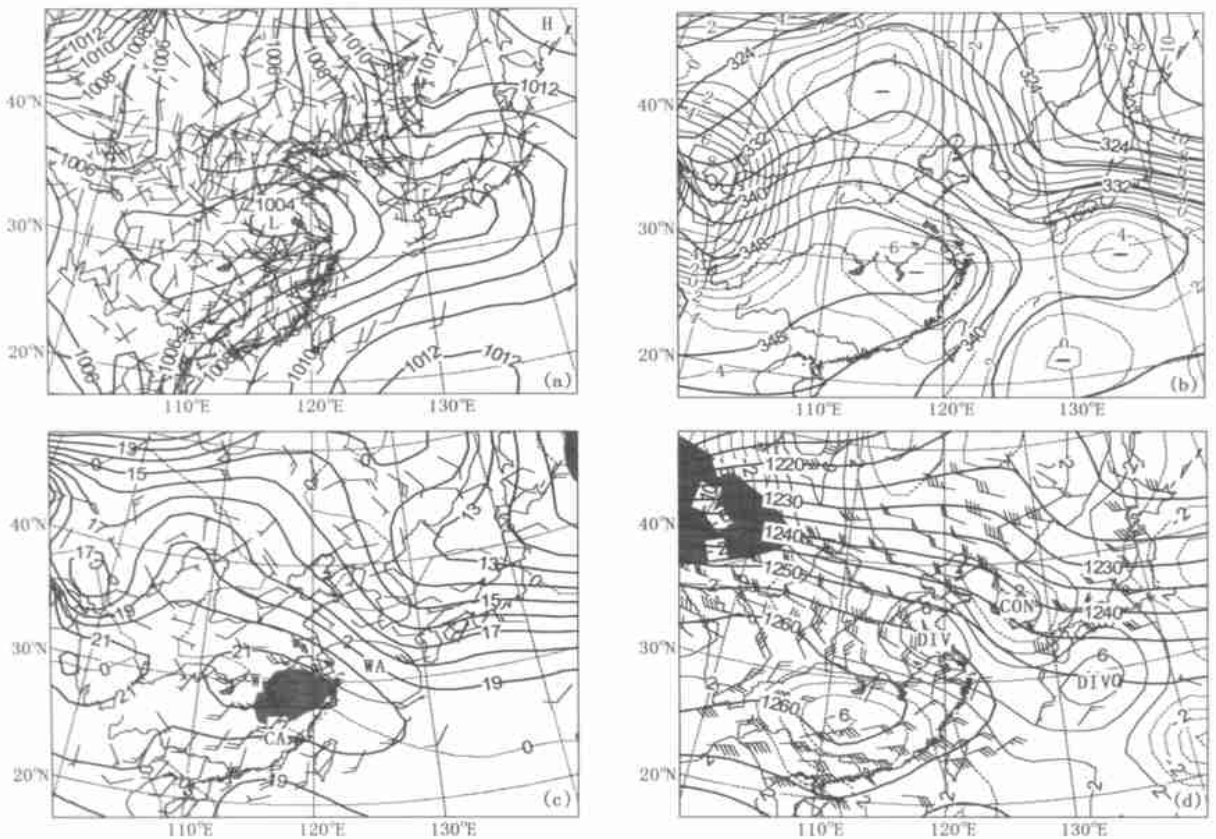


图 4 1993 年 8 月 1~6 日活跃期的合成环流形势和物理量诊断场(说明同图 2)

部是高相当位温区, 黄海南部是等 θ_e 线的密集区和条件性不稳定区(见图 4b)。8 月 1~6 日 MaCS 活跃期间对流层底层的流场、温度场和水汽通量场及对流层高层的流场和散度场与 7 月 10~13 日 MaCS 活跃期相似, 也都有利于对流系统在黄海地区发展, 为节省篇幅不再一一赘述。

8 月 1~6 日 MaCS 活跃期之后紧接了一个 MaCS 的静寂期(8 月 7~11 日)。在此静寂期的地面合成形势图(图 5)上, 西太平洋地区有一台风从菲律宾以东向日本移动, 北方有一冷高压向中国大

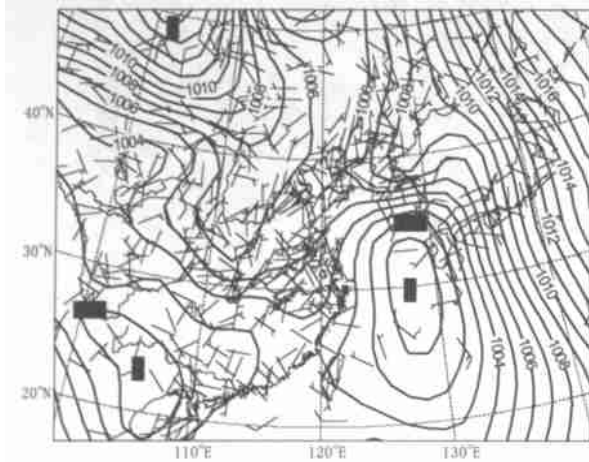


图 5 1993 年 8 月 7~11 日静寂期的地面合成环流形势

陆移动。当干冷空气控制了黄海地区, 黄海地区的次级环流转变为低层辐散、高层辐合、中层下沉运动, 故大尺度环境条件抑制了对流活动。

4 结论和讨论

对 1993 年 7, 8 月份两个 MaCS 的活跃期和两个静寂期的合成和诊断分析表明, 无论在大尺度环流背景方面, 还是在水汽和动力条件方面, 活跃期和静寂期均有显著的差别, 这种差别清楚地反映了黄海地区及周边发生 MaCS 的大尺度环境条件。它们可概括为以下几点: (1) 低层为高相当位温的暖湿空气; (2) 大气层结为条件性不稳定及与暖平流相联系的风向随高度顺旋; (3) 强而稳定的西南低空急流向 MaCS 活跃地区输送大量水汽; (4) 与对流层低层暖切变项伴随的辐合及不太强的上升运动; (5) 与副热带西风急流出口区右侧发散气流相联系的高层辐散。

低层空气具有高的相当位温可能是发生 MaCS 的基本条件之一, 因为对流活动必须发生在低层空气暖而湿的条件性不稳定大气中, 并含有 MaCS 发展必需的大量水汽供给。

低空西南急流是发生 MaCS 的另一基本条件, 因为上升运动与低空急流北端的辐合和暖平流有关, 而且为 MaCS 的发展输送大量的水汽。

参考文献

- Merritt J H, Fritsch J M. The movement of the intense precipitation area in the midlatitude mesoscale convective complexes in proceedings of 10th Conference of weather forecasting and analysis clearcoater beach. A me Meteor Soc, 1984, 529~ 538
- Maddox R A. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Soc, 1980, 61(1): 1374~ 1387
- Augustine J A, Howard K W. Mesoscale convective complexes over United States during 1986 and 1987. Mon Wea Rev, 1991, 119: 1575~ 1589
- 方宗义. 夏季长江流域中尺度云团研究. 大气科学进展, 1986, 2(3): 334~ 340
- 李玉兰, 王婧焱, 郑新江等. 我国西南- 华南地区中尺度对流复合体(MCC)的研究. 大气科学, 1989, 13(4): 417~ 422
- 项续康, 江吉喜. 我国南方地区的中尺度对流复合体. 应用气象学报, 1995, 6(1): 9~ 17
- 陶祖钰, 王立琨, 马禹, 等. "96. 8" 暴雨和 "63. 8" 及 "75. 8" 暴雨的比较. 见: 翁立生主编. 暴雨: 灾害(二), 北京: 气象出版社, 1998. 8~ 14
- Velasco L, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in the America. J Geophys Res, 1987, 192: 9591~ 9613
- Miller D, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. Mon Wea Rev, 1991, 119: 2978~ 2992
- Laing A, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in Africa. Mon Wea Rew, 1993, 121: 2254
- Ma Y, Wang X, Tao Z Y. Geographic distribution and life cycle of mesoscale convective system in China and vicinity. Adv Natur Sci, 1997, 7(6): 701~ 706

ENVIRONMENT OF MESO α - SCALE CONVECTIVE SYSTEM DEVELOPMENT IN YELLOW SEA REGION

Zheng Yongguang Tao Zuyu Wang Hongqing

*(National Laboratory for Severe Storm Research, Department of
Atmospheric Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)*

Lee Dong- Kyou Wee Tae- Kwon

(Department of Atmospheric Sciences, Seoul National University, Seoul 151- 742 R. Korea)

OH Jae- Ho

(Meteorological Research Institute of Korea, Seoul 151- 742 R. Korea)

Abstract

Based on the GMS- 5 satellite IR images, the meso α -scale convective systems (M α CS) were investigated in July and August 1993. The composite synoptic environment was examined for two active-M α CS periods and two null M α CS Periods in 1993 to diagnose the large-scale dynamical and thermal conditions for the development of M α CS over the Yellow Sea region. The distinct contrasts were revealed in the composite diagnostic fields between the active and null-M α CS periods. The large-scale environment favorable for the M α CS development in the Yellow Sea region was obtained as follows: the low-level air with the high equivalent potential temperature, the conditionally unstable atmospheric stratification, the large amount of water vapor conveyed into the M α CS active region by the intense and steady low-level southerly jet stream, the mild ascending motion accompanied by the lower-tropospheric warm advection, and the upper-level divergence related to the diffluent flow on the right side of the exit of the subtropical jet.

Key words: Meso α -scale convective system, Environment, Yellow Sea.