

## 华北南部产生中尺度对流复合体的环境条件分析

朱官忠 刘恭淑

(山东省气象台, 济南 250031)

### 提 要

文章通过1996年7月30日中尺度对流复合体(MCC)的诊断分析,对盛夏华北南部集中出现MCC的原因进行了探讨.指出:华北南部MCC产生于控制黄淮上空的带状副热带高压西北部边缘.低空的暖湿偏南气流在静止锋上被强迫抬升,引起中尺度对流云团不断新生、合并,是MCC生成的主要机制.而华北南部地区西靠太行山脉、东临黄海和渤海的地理环境有利于高温区在这一带形成,以及鲁中山区的阻滞作用有利于地面静止锋形成、加强,则是MCC集中出现于华北南部的重要地方性因素.

**关键词:** 中尺度对流复合体 对流性暴雨 环境条件

### 引 言

自1980年Maddox提出MCC的概念和标准以来,对MCC发生、发展及影响天气的研究越来越广泛和深入. David等<sup>[1]</sup>曾对1983~1985年发生于西太平洋地区的206个MCC进行了统计分析,指出:在西太平洋地区MCC也经常发生,而中国大陆和南海是其中经常发生的4个集中地区之一,且MCC有集中出现于陆地和山脉背风坡的倾向.石定朴等<sup>[2]</sup>研究指出:类似于MCC、其水平尺度在200km以上、外形接近于椭圆形并具有光滑边缘的中尺度对流系统(MCS),在中国的活动是非常频繁的,且多数MCS发生在高原东侧的西南低涡活动区和西太平洋副高的西北边缘.由于MCC生成发展过程中,往往在其影响区域造成大范围强烈暴雨和短时雷雨大风、龙卷、冰雹等强对流天气,因而造成的灾害极为严重.1993年8月4日下午在鲁西地区发展起来的MCC,当天傍晚到次日上午曾先后在鲁西南、鲁南和苏北一带造成了大范围特强暴雨并导致鲁南发生了严重的洪涝灾害<sup>[3]</sup>.采用LAFS和MM4客观分析资料,对造成“93.8”鲁南特大暴雨的MCC生成环境进行了诊断分析,表明:这个最强盛期-54℃冷云区面积达16.4万km<sup>2</sup>的MCC,是发生在太行山脉背风坡东侧到华北南部平原的一次典型个例.该MCC产生于副热带高压北侧的西风带高压脊后部、低层低涡前部的地面东西向静止锋附近<sup>[4]</sup>.另外,曾于1989年

• 山东省科委“中尺度强风暴灾害性天气监测警报预报服务技术研究”课题资助.  
1997-03-06收到,1997-05-19收到修改稿.

7月16日夜间造成冀南、鲁西一带大范围强暴雨的一个MCC也产生于太行山脉背风坡东侧的华北南部平原<sup>[5]</sup>。在业务预报中,亦发现有许多MCS首先在冀、鲁、豫3省交界区域产生,然后逐渐移到鲁中山区一带发展加强,造成对流性暴雨<sup>[6]</sup>。1996年7月30日下午至夜间在晋、冀、鲁、豫4省交界附近区域内生成的一个MCC(简称“96.7”),是在太行山东侧的华北南部产生MCC的最新典型个例。本文旨在“96.7”MCC诊断分析的基础上,结合以往发生于华北南部的MCC个例,分析和探讨该区域经常产生MCC的原因,为大范围对流性暴雨落区预报提供依据。

## 1 “96.7”MCC的发生和发展

“96.7”MCC的生成期,可追溯到7月30日中午前后,在11:31(北京时间,下同)的GMS-5红外云图上,鲁北到鲁中,正处于一个分裂减弱的对流云团控制下,从莱州湾到鲁中山区的橄榄状云团A相对较强,云顶最低温度仍维持在一60℃左右,其西南方还有一个小对流云团新生。另外,处于黄河口附近减弱云团西南方向的德州附近,也有一个中β云团B生成(图1a);1h后,云团A因其西南方小云团并入,主体不断向沂蒙山区延伸,云团B亦迅速扩展,一60℃以下的冷云区面积已扩大到1万km<sup>2</sup>以上,同时,在其西南和西

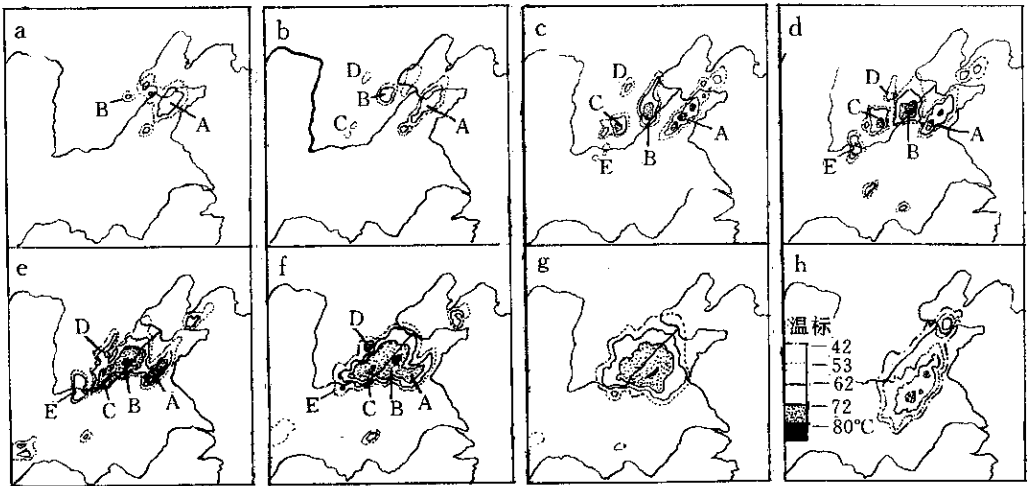


图1 1996年7月30日MCC生成发展过程的红外云图演变

北方向不远处,又分别有中β云团C和D新生(图1b);13:32,A云团位置少动,但中心云顶温度已下降到-70℃以下,B云团的强中心则继续扩大南移(图略);14:33,A、B、C、D 4个对流云团都有明显发展加强,但以C云团发展最快,中心区云顶温度已达-75℃左右,同时在黄河中游有中β云团E新生(图1c);15:33各对流云团在不断发展中相互靠拢,其中A、B云团已开始连接,最冷云顶温度达-77℃(图1d);16:32,A、B、C、D 4个对流云团已经连接在一起,形成了MCC的雏形,其-54℃的冷云区面积迅速扩展到14.8万km<sup>2</sup>,位于东阿附近的上冲云顶温度下降到-81℃(图1e);17:33,各云团的合并

基本完成,此时 MCC 开始进入完全成熟的胞状期,其上冲云顶位于泰山南侧的肥城附近,云顶最低温度达  $-81^{\circ}\text{C}$  (图 1f); 19:02, MCC 达到最强期,云区边缘光滑,对流云团的椭圆率为 0.86,整个云团几乎为圆形,  $-32^{\circ}\text{C}$  以下冷云区面积达 33.2 万  $\text{km}^2$ ,  $-54^{\circ}\text{C}$  冷云区面积达 22.9 万  $\text{km}^2$ ,  $-70^{\circ}\text{C}$  以下的冷云区面积也达 9 万  $\text{km}^2$  (图 1g),这是一个非常强大、非常典型的 MCC. 20:00 以后, MCC 在缓慢向东南方向移动中,云体逐渐向南北方向伸展,从 23:32 开始,云区面积逐渐缩小,云顶高度下降(图 1h). 至 31 日 02:33, MCC 已基本解体、消散.

图 2 给出了“96.7”MCC 生成前各对流云团的移动路径和 MCC 形成后的强中心移

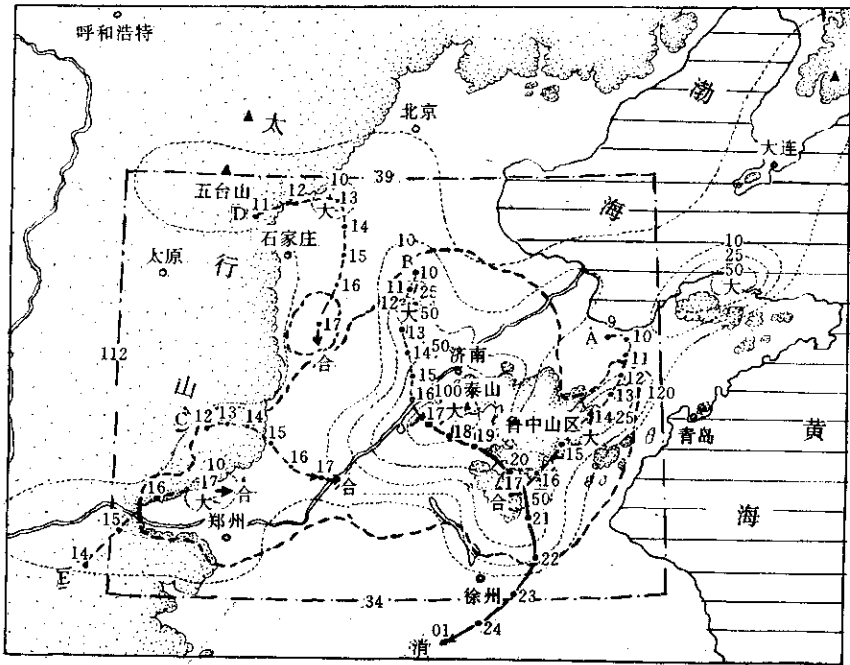


图 2 “96.7”MCC 生成前(虚线)、生成后(实线)云团强中心移动路径及合并过程  
(黑点:云团强中心位置,旁边数字:时间,粗断线:MCC 形成时  $-54^{\circ}\text{C}$  冷云范围,细虚线:30 日 11:00~23:00 的等雨量线,点影区:200mm 以上的山地)

动路径由各对流云团每小时的云顶最低温度逐时下降的情况,可以看出 MCC 生成前各对流云团垂直向上发展非常迅速,云顶很快达到了对流层顶部.其中因处于 A 云团南侧的泰沂山区不断有对流单体新生,并与之合并加强,该云团的强中心逐渐自莱州湾向西南方向移入沂蒙山区;B 云团则随切变线南压,自沧州附近向南偏东方向移到了泰山西侧;C 云团在高空偏西气流引导下,自晋南向偏东方向移到了鲁西南.正是这 3 个对流云团相向移动,逐渐靠拢、合并,构成了 MCC 的核心. 17:00 后 MCC 继续缓慢向东南方向移动,其强中心 22:00 进入苏北,再折向西南方向移动并减弱消失.由“96.7”MCC 生成过程不难看出, MCC 生成区可大致界定在  $34^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ 、 $112^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  范围内,这与文献[4]给出的

“93.8”MCC 生成区几乎重合。

图 3 为“96.7”MCC 生成、发展过程中冷云区面积、云顶最低温度及最大降水强度随着时间的变化。MCC 的生成、发展过程，大致可分为 3 个阶段：30 日 11:00~16:00 为

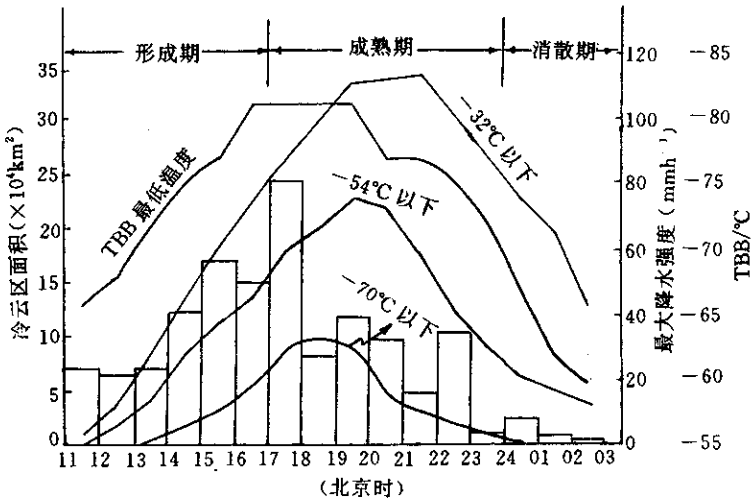


图 3 “96.7”MCC 不同温度的冷云区面积、最大降水强度及云团强中心最低云温 TBB 随时间的变化(7 月 30 日至 31 日)

生成期，此阶段内，中  $\beta$  云团迅速发展，云顶不断增高，云顶温度下降，冷云区面积迅速扩大，降水强度亦随之加大。由云团最低温度演变曲线可以看出，MCC 生成前期，垂直对流发展最强烈，其上冲云顶达到的高度最高。而 MCC 形成后，上冲云顶消失，对流云团中心区云温趋于均匀。因此，云顶最低温度曲线的峰值出现在冷云区最大面积峰值之前，基本与雨强峰值一致。30 日 17:00~23:00 为成熟期，17:00~18:00 泰山、泰安和东平 3 站的 1h 降水量分别达 80.4、78.6 和 74.7mm，同时伴随短时 8~10 级的雷雨大风；但随着 MCC 冷云区面积扩展到最大，降水强度反而逐渐减小，最大雨强稳定在 20~40mm/h；30 日午夜 24:00 以后，MCC 进入减弱消散期，降水强度迅速减小。

## 2 华北南部产生 MCC 的环境条件分析

### 2.1 大范围对流不稳定区的形成与触发机制

“96.7”MCC 发生于西太平洋副热带高压位置偏北，并稳定西伸的环流背景下。MCC 生成前 10h 左右，在 7 月 30 日 08:00 500hPa 上，带状副高的 588 线已抵达黄河下游上空；我国中纬度上空受蒙古低压南侧较平直的西风环流控制。由于副高势力较强，中纬沿西风环流自河西东移的高空短波槽，进入华北后逐渐减弱北缩，相应 850hPa 低槽则逐渐顺转为东西向切变线，移到了沈阳、大连、邢台到兰州一线。切变线南侧的西南暖湿气流与北侧冷平流交汇于山东北部地区(图 4a)。在此环流形势下，受副高北侧西南气流控制的黄河下游以南地区，由于低层增温增湿显著，高层随短波槽有冷空气入侵，因而十分有利

于大气稳定度下降、形成大范围对流不稳定区。为计算方便,采用雷暴指数  $L_b = 2T_{850} - (T - T_d)_{850} - T_{500}$  来反映大气环境的稳定程度,一般  $L_b \geq 40^\circ\text{C}$  (相当于沙氏指数  $\leq 0^\circ\text{C}$ ) 有利于出现雷雨。计算结果表明,当时华北南部及山东中西部正处于  $L_b > 40^\circ\text{C}$  的不稳定区内(图 4a 中的点影区),有利于当天出现雷雨天气。从不稳定中心区附近的济南探空曲线上,可以更清楚看出,当时大气环境已呈现出显著的潜在不稳定状态,潜在不稳定能区从边界

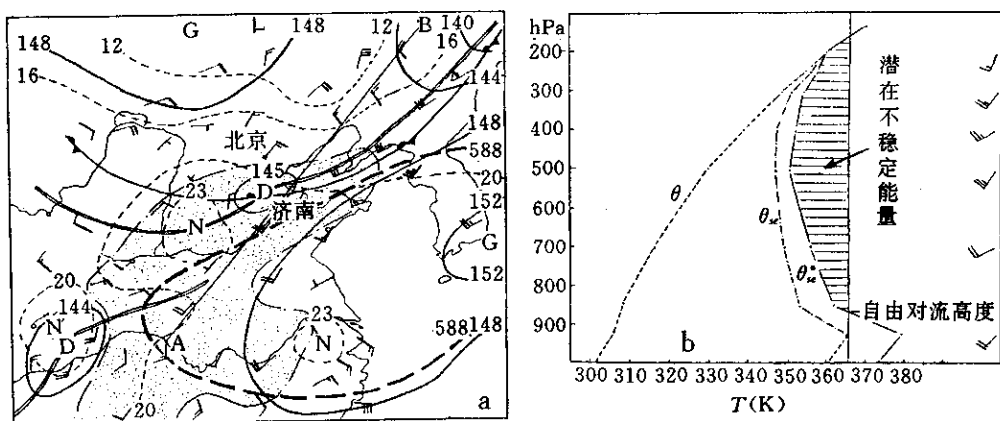


图 4 1996 年 7 月 30 日 08:00(a)850hPa 形势(b)济南探空曲线(实线,等高线;虚线,等温线;双线,切变线;空箭矢,暖平流;黑箭矢,冷平流;粗断线,500hPa 副高外围线,点影区,  $L_b > 40^\circ\text{C}$  的不稳定区)

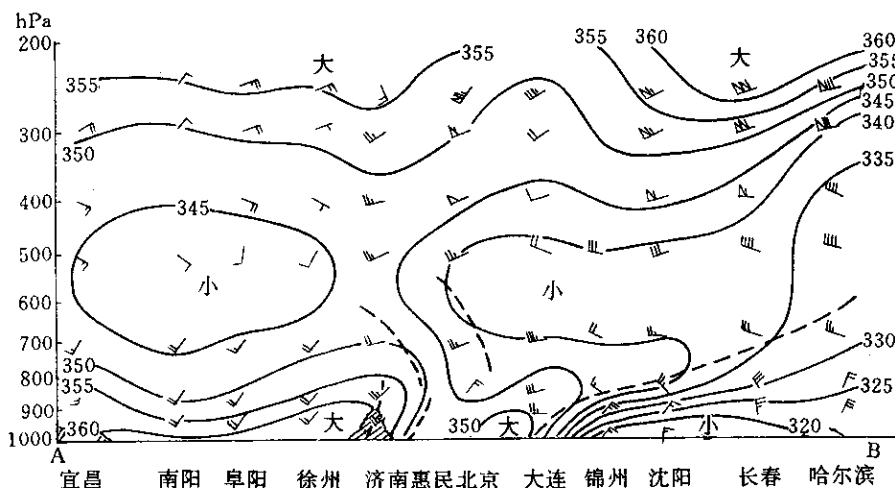


图 5 1996 年 7 月 30 日 08:00 宜昌—哈尔滨的垂直剖面 (实线,等  $\theta_w$  线,断线:锋区边界,点影区,干冷气团)

层直达对流层顶(图 4b 影区). 925~500hPa 的潜在不稳定指数  $P_s = \theta_{se925} - \theta_{se500}^* = 366 - 351 = 15K$ . 显示出当时山东中西部的局地大气环境已具备了产生大范围强对流天气的潜在条件. 而引起对流发生发展的触发系统,则是随冷空气逐渐南压的低层切变线及相应地面静止锋. 从当时宜昌—哈尔滨的西南至东北向垂直剖面图上可见,低空西南风一侧,徐州—济南的  $\theta_{se}$  高值区明显上凸,并随高度下降,呈现比较显著的位势不稳定. 此时,地面冷锋已移到渤海中部一带,由于锋前在鲁北有对流性降水,泰山北侧有一边界层锋区形成(图 5). 此后,随着冷锋南压到鲁中逐渐静止,锋后的  $\theta_{se}$  低值区迅速南伸到泰山北侧,结果导致 30 日下午停滞于鲁中山区的东西向静止锋区加强. 对正在北上的暖湿气流起了强迫抬升作用,从而引起凝结和位势不稳定释放,触发了对流猛烈发展,并最终导致 MCC 生成.

## 2.2 地面中尺度辐合系统与 MCC 的发展

为了解“96.7”MCC 生成期间地面流场上的中尺度系统活动,分析了 7 月 30 日逐时流场及 1h 降水量分布. 结果发现,在北方冷锋尚位于渤海中部一带时,锋前在山东北部的滨州附近,从 30 日 07:00 开始已有一个中尺度雷暴系统生成,07:00~08:00 高青站 1h 最大降水量达 37.0mm,强雷雨引起的下沉冷空气在地面上向外扩展形成了明显的地面辐散场,辐散中心南侧的东北气流与控制我省的大尺度偏南风环境流场之间,在鲁中山区北部形成了具有锋面性质的切变辐合线(图略). 此后随着雷暴系统及气流辐散中心有规律的东移,地面切变辐合线始终停滞在鲁中山区一带,由于切变线两侧的温差逐渐加大,水平锋区不断加强,因而在鲁中山区南部不断有新的对流单体激发出来. 至 30 日 14:00,随着北方冷空气经渤海南下,鲁西北一带的偏北风加强,在东西向切变线西段的聊城附近,生成了一个中尺度辐合中心(图略),由于地面水平强辐合导致上升运动增强,自 14:00 以后在辐合中心附近的对流云团猛烈发展,气流辐合中心附近降水强度加大. 其后,该辐合中心以每小时 20~30km 的速度向东南移动,进入泰安后,再折向西南移动. 并在辐合中心经过的地区造成强烈暴雨. 可见地面中尺度辐合线与辐合中心的生成,对 MCC 的发展起到了关键作用.

## 2.3 华北南部地理地形条件对产生 MCC 的影响

暴雨和强对流天气的空间分布,明显地受到地形及海陆分布等地方性因素的影响. 华北南部及山东地区之所以成为 MCC 的多发区,在很大程度上也与其所处的地理环境有关.

首先,华北南部地区正处于太行山背风坡,易激发出“背风波”<sup>[7]</sup>. 当“背风波”的上升气流较潮湿、且大气层结具备位势不稳定结构时,便会在气流上升区引发局部对流而不断产生中小尺度对流云团,从而为 MCC 生成创造了条件.

其次,华北南部及山东地区西靠太行山区,东临渤海、黄海,夏季海洋与陆地之间的温差十分明显,特别是盛夏午后由海陆温差产生的平行于海岸线的“海岸锋区”,在地面及边界层表现十分清楚. 若北方有冷空气南下,华北南部及山东地区正处于北方冷空气及黄、渤海的低温区包围的相对高温区内,这十分有利于地面闭合热低压生成. 而在锋区上激发出的对流云团大都具有向地面暖低压区发展和移动的倾向,热低压的生成,无疑为新生对流云团在热低压区域靠拢、合并,生成 MCC 提供了最有利的环境. 以“96.7”MCC 为例,

在7月30日14:00地面图上,32℃以上的高温区控制了整个鲁西南及鲁南地区,且暖区已有1001hPa的闭合低压在鲁西生成,而黄渤海区则为25℃以下的冷区所控制,海陆之间的温度梯度明显.此时,在地面静止锋区上产生的A、B、C 3个对流云团,正有规律地朝暖中心附近移动(图略),并最终合并生成了MCC.

第三,鲁中山区处于华北平原与江淮平原之间,主要山峰的海拔高度均在1000m以上,对低层南下冷空气和北上暖湿气流具有明显阻滞、抬升作用,故十分有利于对流性暴雨在这一带产生.文献[8]用中尺度数值模拟(MM4)对鲁中暖区对流性暴雨进行的有无地形高度的对比试验表明:在有利于出现对流性暴雨的相同条件下,有无鲁中地形,其最大降水量之差竟高达6~7倍之多.可见,鲁中山区地形抬升作用对产生MCC和造成对流性暴雨,具有重大影响.

### 3 小 结

(1)华北南部及山东地区出现的MCC,主要发生在稳定带状副高西北部边缘的西风带弱脊后部对流不稳定区内.高空短波槽遇副高阻挡形成的东西向切变线及与之配合的地面静止锋上激发出来的对流云团,在沿切变线东移的低层低涡前部辐合区内相互靠拢、合并,是产生MCC最有利的大气环境.

(2)华北南部西靠太行山,东临黄、渤海的特殊地理条件产生的准定常暖区及相应热低压和鲁中有利地形对暖湿气流的抬升作用,是造成MCC集中发生于冀、鲁、豫三省交界区的重要地方性因素.

(3)当副高加强北上并稳定控制黄淮地区上空时,若其北侧有东西向切变线及地面静止锋在鲁中山区附近停滞,同时自河套南部有低层低涡沿切变线东移,应特别警惕MCC在华北南部生成并在山东地区造成强烈的对流性暴雨天气.

### 参 考 文 献

- 1 David Miller, Fritsch J M. 西太平洋地区的中尺度对流复合体. 气象科技, 1992, (6): 38~46.
- 2 石定朴, 朱文琴, 王洪庆等. 中尺度对流系统红外云图云顶黑体温度的分析. 气象学报, 1996, 54(5): 600~601.
- 3 朱官忠, 李玉华. "93.8"鲁南特大暴雨的分析. 气象, 1994, 20(2): 11~16.
- 4 朱官忠, 官凤山. 一次由低涡东移引发的中尺度对流复合体生成环境分析. 山东气象, 1995, 15(3): 2~7.
- 5 杜青文. 一次MCC影响河北暴雨的分析. 见: 华北地区中尺度暴雨试验论文集. 北京: 气象出版社, 1992. 86~89.
- 6 刘恭淑, 朱官忠. "91.7"沂蒙山区特大暴雨过程分析. 山东气象, 1992, (4): 24~27.
- 7 斯公望. 暴雨和强对流环流系统. 北京: 气象出版社, 334~335.
- 8 刘恭淑, 张国平, 朱官忠. 鲁中暖区对流性暴雨的成因分析. 大气科学研究与应用, 1997, (2): 32~38.

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS  
FOR FORMING MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEXES  
IN SOUTHERN NORTH CHINA**

Zhu Guanzhong    Liu Gongshu

(*Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031*)

**Abstract**

According to the diagnostic analysis of MCC on July 30, 1996, the cause for MCC occurring concentrately in southern North China in midsummer was discussed. It is shown that MCC in southern North China was formed in the northwestern margin of the zonality subtropical high controlling over the Huanghe-Huaihe River basin. It was the main mechanism in forming MCC that the southern low-level warm-wet air current was forced to raise over the stationary front which caused the regenerating and combining of mesoscale convective cloud cluster continually.

The geographical environment in southern North China, near by the east of Taihang mountains and by the west of the Yellow Sea and Bohai Sea, was favourable to form the high temperature zone in these areas and the preventing action of Central Shandong Mountains was benefit to form and intensify the surface stationary front. These important local factors caused MCC emerging concentrately in southern North China.

**Key Words:** Mesoscale Convective Complex (MCC)    Convective torrential rain    Environmental condition