

# 2003年淮河大水期间 MCS 的普查分析<sup>①</sup>

费增坪 郑永光 王洪庆

(北京大学物理学院大气科学系,暴雨与旱涝灾害实验室,北京 100871)

## 提 要

利用 GEOS-9 卫星红外 1 云图对 2003 年 6 月 21 日至 7 月 22 日淮河流域大水期间的 MCS 做了普查分析。结果发现:(1)淮河大水期间共有 10 个  $M_{\alpha}$ CS 和 24 个  $M_{\beta}$ CS,其产生频数远大于常年的平均值;(2)绝大部分 MCS 初生于淮河流域并且其成熟时的位置位于淮河流域是造成这次大水的主要原因之一;(3)淮河流域大水期间部分 MCS 的形成时间与一般 MCS 有所不同。最后,结合常规资料对产生 MCS 的天气背景进行了分类,发现该期间 MCS 形成的天气背景具有多样性。

**关键词:** 中尺度对流系统 降水 普查

## 引 言

2003 年 6 月 21 日至 7 月 22 日,淮河流域发生了 1949 年以来的第三次流域性洪水,流域平均降雨仅次于 1954 年,超过了 1991 年,为近 50 年来的第二位。中国气象学会 2003 年学术年会中为此特别增设了分会场,并编辑出版了《新世纪气象科技创新与大气科学发展——03.7 淮河大水的水文气象学问题》一书<sup>[1]</sup>。但该书的研究论文并未对造成淮河流域大水的 MCS 进行详细的普查和分析。

中尺度对流系统,简称 MCS(Mesoscale Convective System),是我国夏季造成暴雨和洪涝灾害的主要天气系统之一。对于 MCS 的普查和分析,过去的研究大多侧重于 MCC(中尺度对流复合体),而现有许多研究<sup>[2~4]</sup>表明, $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 都是引起暴雨或冰雹等强降水的主要原因之一。

淮河流域地处中国东部,介于长江和黄河两流域之间。马禹等<sup>[5]</sup>的统计普查结果表明该地区是 MCS 的多发区之一。为了揭示 MCS 和 2003 年淮河大水的关系,对 2003 年

6 月 21 日至 7 月 22 日淮河流域大水期间的  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 做了普查分析,发现了淮河流域大水期间  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的一些新特点。

## 1 资料、普查区域和统计标准

普查利用淮河汛期 2003 年 6 月 19 日至 7 月 22 日每小时 1~2 次的 GEOS-9 卫星红外 1 云图(其中缺 6 月 20 日 17:25~21 日 05:25 资料)和其常规观测资料,总共对 816 张云图进行了 TBB 分析。普查的区域是淮河流域(31~36°N、112~121°E)。普查的对象为在此期间发生、成熟和消亡过程中经该区域的  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS。

为使普查分析更适合中国 MCS 实际情况,根据我国的 MCC 数目和西半球相比偏少,但却是 MCS 的高发区的特点,采用和 Maddox<sup>[6]</sup>相似的办法以及 Orlanski 尺度划分标准<sup>[7]</sup>,重新定义  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS。 $M_{\alpha}$ CS 的统计标准采用与参考文献<sup>[8]</sup>相同的标准,对  $M_{\beta}$ CS 的最小尺度作出更严格的限制是更有利于普查能包含更小尺度的  $M_{\beta}$ CS。为了揭示 MCS 的发生源地和统计移动路径方便,

<sup>①</sup> 资助项目:国家自然科学基金资助项目 40305004、40233036 与 973 项目 2004CB418300

表 1  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的判定标准

判据	$M_{\alpha}$ CS	$M_{\beta}$ CS
最小尺度	$TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $> 10^5 \text{ km}^2$	$TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区直径 20km 以上
持续时间	不限	
形状	$-32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区达到最大范围时, 椭圆率(短轴/长轴) $\geq 0.5$	
初生时刻	从 $\beta$ 尺度的对流云团开始算起	
形成时刻	开始满足最小尺度的时刻	
最大范围(成熟)时刻	连续冷云区( $TBB \leq -32^{\circ}\text{C}$ ) 达到其最大面积的时刻	
消亡时刻	不再满足最小尺度的时刻	
路径	$-32^{\circ}\text{C}$ 冷云盖的面积中心(即形心)位置	

定义中分别增加了初生时刻和“形心”特征。如表 1。

## 2 普查结果的分析

2003 年淮河大水期间 MCS 的类型、生命史、形成时刻、最大时刻、消亡时刻、移动速度及天气系统普查的结果如表 2。表中的序号是按照 MCS 形成时间的先后顺序编号; 类型分为  $\alpha$  和  $\beta$ ; 生命史是从形成时刻至消亡时刻的时长; 形成、最大和消亡时刻为北京时; 速度指的是按 MCS 的  $-32^{\circ}\text{C}$  冷云盖面积最大时刻的前后分别计算的平均移动速度, 其中单一速度值表示 MCS 基本匀速运动; 天气系统是指触发并维持 MCS 发展的最直接的天气背景, 并按 MCS 形成时刻的背景天气系统, 将其进行归类。

### 2.1 生命史和形成时刻

从统计结果看, 在整个淮河大水期间共有 34 个 MCS 产生, 其中 10 个  $M_{\alpha}$ CS 和 24 个  $M_{\beta}$ CS。表明只有少数的  $M_{\beta}$ CS 会发展到  $M_{\alpha}$ CS。其中,  $M_{\alpha}$ CS 的平均生命史为 7.1 小时, 最长为 15 小时, 最短为 4 小时。  $M_{\beta}$ CS 的平均生命史为 5.2 小时, 最长为 8 小时, 最短为 2.5 小时。文献[5]对全国 MCS 平均生命史的普查结果  $M_{\alpha}$ CS 是 7~8 小时,  $M_{\beta}$ CS 为 5~6 小时。由于这次普查  $M_{\beta}$ CS 比文献[5]的尺度定义小, 所以普查结果表明尺度小的  $M_{\beta}$ CS 也具有相当的生命史, 在 MCS 的普查中一样具有重要的意义。

通过普查分析发现, 相当数目的  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 形成于对流条件相对较弱的后半夜和凌晨。这与文献[5]中的普查结果有所不

同。例如: 10 个  $M_{\alpha}$ CS 中有 3 个形成于凌晨(4~6 时)。24 个  $M_{\beta}$ CS 中有 6 个形成于凌晨, 4 个在午夜后(0~4 时)生成。上述普查结果显示:  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的形成时刻除午后、上半夜类型外, 还有凌晨。

### 2.2 MCS 移动速度

从表 2 还可以发现, MCS 的移动速度具有如下一些特点:

MCS 的平均移速大约为  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 最慢移速  $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 最快移速  $166 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 大约 50% (18 个) 的 MCS 基本为匀速移动; 有 13 个 MCS 的  $-32^{\circ}\text{C}$  冷云盖面积最大时刻前的平均移速小于冷云盖面积最大时刻后的平均移速; 只有 3 个 MCS 的  $-32^{\circ}\text{C}$  冷云盖面积最大时刻前的平均移速大于冷云盖面积最大时刻后的平均移速; 有 15 个 MCS 的平均移速小于  $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 约占总数的 50%, 其中 4 个为  $M_{\alpha}$ CS。由于影响 MCS 移速的原因可能与大尺度环境场等多种因素有关, 受篇幅限制, 具体原因将在以后的工作中进行讨论。

### 2.3 天气背景

虽然构成环流背景的天气系统并不唯一, 且相互交错, 但普查中根据云图上大范围云系的分布特征并参考常规天气观测资料, 对 34 个 MCS 个例进行背景天气系统的划分时仍作唯一定型: 首先考虑卫星云图上直观的天气系统对 MCS 进行定型, 其次参照天气图判定的天气系统进行定型, 当卫星云图和实况天气图上均无明显的影响 MCS 的天气系统时, 考虑为地形作用。结果发现触

表2 MCS个例统计表

序号	类型	生命史(小时)	形成时刻	最大时刻	消亡时刻	速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	天气系统
1	$\beta$	7	6.19 16:25	6.19 19:25	6.19 23:01	40	锋面云带中
2	$\beta$	5	6.19 14:25	6.19 16:25	6.19 19:25	22	地形作用
3	$\alpha$	6	6.20 16:25	6.20 19:25	6.20 22:01	16→46	锋面云带中
4	$\alpha$	15	6.21 18:13	6.22 05:25	6.22 09:25	55	锋面云带中
5	$\alpha$	14	6.22 18:13	6.22 22:25	6.23 08:01	86→60	东北冷涡
6	$\beta$	3	6.26 06:49	6.26 08:01	6.26 09:25	54→70	西南低涡
7	$\alpha$	4	6.27 00:49	6.27 02:25	6.27 04:01	50→86	西南低涡
8	$\beta$	4	6.30 11:01	6.30 14:01	6.30 15:25	76→130	西南低涡
9	$\beta$	2.5	7.1 23:01	7.2 00:49	7.2 01:25	95	锋面云带中
10	$\alpha$	6	7.2 05:01	7.2 09:25	7.2 11:01	53→166	锋面云带中
11	$\beta$	5	7.3 04:25	7.3 07:25	7.3 09:25	33→50	低涡
12	$\beta$	5	7.3 04:25	7.3 07:25	7.3 09:25	76	低涡
13	$\beta$	6	7.3 21:01	7.4 01:25	7.4 03:25	60→85	锋面云带中
14	$\beta$	6	7.4 04:01	7.4 06:49	7.4 10:01	55	低涡
15	$\alpha$	6	7.5 04:25	7.5 09:25	7.5 10:01	70	低涡
16	$\beta$	5	7.5 16:25	7.5 19:25	7.5 21:01	100→80	低涡
17	$\beta$	5	7.5 22:25	7.6 01:25	7.6 03:25	56→115	低涡
18	$\beta$	6	7.8 18:49	7.8 22:01	7.9 00:13	120	西南低涡
19	$\beta$	7	7.8 22:25	7.9 02:25	7.9 05:01	70→80	西南低涡
20	$\beta$	6	7.10 23:01	7.11 02:01	7.11 05:01	54	暖锋式切变
21	$\beta$	5	7.12 20:01	7.12 23:01	7.13 01:25	56→110	低涡
22	$\beta$	6	7.13 05:01	7.13 09:25	7.13 11:01	67→115	低涡
23	$\beta$	7	7.13 01:25	7.13 05:01	7.13 08:01	58	副高边缘
24	$\beta$	8	7.14 03:25	7.14 08:01	7.14 11:01	80	副高边缘
25	$\beta$	3	7.14 18:13	7.14 20:01	7.14 21:25	37	副高边缘
26	$\beta$	3	7.16 23:01	7.17 01:25	7.17 02:01	60	西南低涡
27	$\beta$	3	7.18 20:01	7.18 21:25	7.18 23:01	100	东北冷涡
28	$\alpha$	5	7.19 21:01	7.20 00:13	7.20 02:01	110	东北冷涡
29	$\beta$	3	7.20 00:13	7.20 02:01	7.20 03:25	146	副高边缘
30	$\beta$	6	7.20 03:25	7.20 08:01	7.20 09:25	47	副高边缘
31	$\alpha$	4	7.21 05:01	7.21 08:01	7.21 09:25	70→110	副高边缘
32	$\alpha$	7	7.21 18:13	7.21 23:01	7.22 01:25	55→67	副高边缘
33	$\beta$	6	7.22 06:13	7.22 10:01	7.22 12:49	82	副高边缘
34	$\alpha$	4	7.22 22:01	7.22 23:01	7.23 02:01	110→43	副高边缘

发和维持 MCS 的天气系统有副热带高压、低涡、锋面云带、西南低涡、东北冷涡及暖锋式切变和地形作用。如果将东北冷涡和西南低涡都归类为低涡类系统,则主要的天气系统是副热带高压和低涡及锋面云带。

#### 2.4 路径特点

图1给出了  $M_{\alpha}$ CS 的移动路径图,为了分析清楚,把  $M_{\beta}$ CS 的移动路径图分为图2和图3。图1中为了追踪形成  $M_{\alpha}$ CS 前的初生时刻的发源地,  $M_{\alpha}$ CS 的起始位置是从其达到  $\beta$  尺度开始,而图2和图3的起始位置

则是  $M_{\beta}$ CS 形成时刻的位置。图中所有路径轨迹线中的标号是  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的序号,路径中的圆点是  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 个体面积最大时刻的位置,而结束位置是  $M_{\alpha}$ CS 的消亡时刻的位置,图中的方框为普查的淮河流域区域范围。

从  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的移动路径图可看出,在这34个MCS中,有28个产生在淮河流域,占总数的82.4%,其中  $M_{\alpha}$ CS 为9个,  $M_{\beta}$ CS 为19个。根据以往对MCC的研究成果<sup>[9]</sup>,有MCC出现的地方必定有其独特的

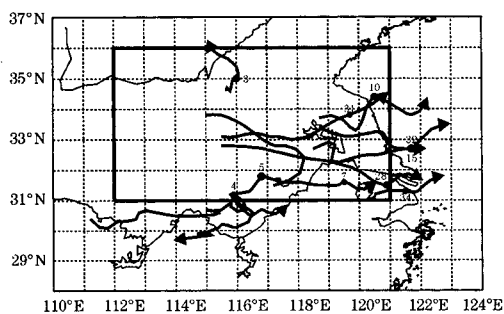


图1  $M_{\alpha}$ CS 的移动路径图

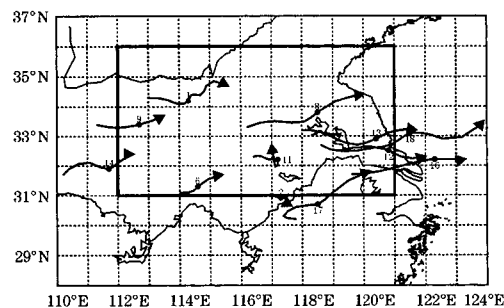


图2  $M_{\beta}$ CS 的移动路径

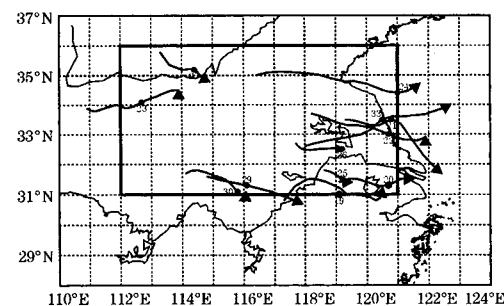


图3  $M_{\gamma}$ CS 的移动路径图

地理条件和环境条件,淮河流域地处中国东部,介于长江和黄河两流域之间。流域西起桐柏山、伏牛山,东临黄海,南以大别山、江淮丘陵、通扬运河及如泰运河南堤与长江分界,北以黄河南堤和沂蒙山与黄河流域毗邻。这种独特的自然地理环境使地面温度分布差异明显,陆地对太阳辐射吸收强烈,热容量小,地面升温快,而海洋和江河对太阳辐射吸收少,热容量大,海水面升温慢,从而形成海陆温差,这种温差使暖区空气上升,冷区空气下沉,形成小型垂直环流,此种上升运动可起到产生  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的触发机制。从  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的移动路径图也可看出,  $M_{\alpha}$ CS 和

$M_{\beta}$ CS 主要产生在淮河流域的下游,这和东面的黄海有更直接的关系。同时,在 34 个  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 中有 25 个其冷云盖面积最大时位于淮河流域,占总数的 73.5%,项续康等<sup>[10]</sup>曾指出,强降水主要产生于 MCC 的成熟阶段,所以,73.5%的 MCS 个例的主要降水位于淮河流域之内,应是引发淮河大水的原因之一。

另外,比较马禹等<sup>[5]</sup>对 1993~1995 年夏季 8 个半月的 MCS 分布图可以发现,在 110°E 以东、28~40°N 的黄河和长江的中下游地区及其东部沿海这一 MCS 集中区中,淮河区域  $M_{\alpha}$ CS 从西到东的分布值是 4~14 个,而  $M_{\beta}$ CS 从西到东的分布值为 15~30 个。显然 2003 年淮河大水期间一个月中 10 个  $M_{\alpha}$ CS 和 24 个  $M_{\beta}$ CS 的产生频数要高于常年值许多,可以说是高发期。特别是 115°E 以东淮河流域中下游,  $M_{\alpha}$ CS 有 9 个,而马禹等统计的结果是 8 个半月的值只有 12 个;同样,115°E 以东淮河流域中下游,  $M_{\beta}$ CS 有 16 个,而马禹等的结果是 8 个半月的值是 30 个。虽然普查结果出现明显差别部分原因有是统计标准不同,但仍可以反映 MCS 发生的年际差异及淮河强降水和  $M_{\alpha}$ CS 与  $M_{\beta}$ CS 的对应关系。

从 MCS 的移动方向来看,大多数的 MCS 沿纬向自西向东运动,主要是受淮河流域高层的西风气流控制的。另外有 2 个  $M_{\alpha}$ CS 和 1 个  $M_{\beta}$ CS 的移动路径是弯曲的,这种比较特殊的路径需要更加详尽资料来研究其演变原因。

### 3 结论与讨论

通过对 2003 年淮河流域大水期间一个月的  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的普查分析,并与淮河流域非大水期间的 MCS 普查结果<sup>[5]</sup>进行了对比,发现:

(1)  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 形成时刻都有相当比例的个体出现在对流条件通常并不好的凌晨,与国外 MCC 明显表现为夜发性和马禹对全国普查划分的午后和上半夜两类型的结

果有着明显区别,其成因和触发机制有待于以后的工作中进一步研究。

(2) 触发并维持  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的天气系统主要有副热带高压、低涡和锋面云带。

(3) 2003 年淮河大水期间的一个月共有 34 个  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS,其产生频数要远高于常年的平均值,特别是淮河流域的中下游属高发期。同时,从移动路径图可看出,在这 34 个  $M_{\alpha}$ CS 和  $M_{\beta}$ CS 的中,有 28 个初生时刻位于淮河流域内,占总数的 82.4%;还有 25 个其冷云盖面积最大时位于淮河流域之内,占总数的 73.5%;这些都是引起淮河大水的主要原因之一。

(4) MCS 的基本移动方向为自西向东,但也有少数例外。

此外,从 MCS 的普查结果中可以看到,MCS 的移速、移向以及发生发展过程等都呈现出了多样性的特点,因此还需要对其做进一步的分析研究。

## 参考文献

- 1 中国气象学会水文气象学委员会编. 新世纪气象科技创新与大气科学发展——03.7 淮河大水的水文气象学问题. 北京:气象出版社,2003:11.
- 2 项续康. 1980 年 7 月川东大暴雨中尺度对流系统分析. 气象,1995,21(3):30~34.
- 3 何华,许美玲,孙绩华. 孟加拉湾低压造成云南强降水的中尺度分析. 气象,2000,26(2):29~33.
- 4 薛秋芳,梁海河,张沛源. 中- $\beta$  尺度对流云团造成特大暴雨过程的分析. 气象,2001,27(2):39~43.
- 5 马禹,王旭,陶祖钰. 中国及其邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征. 自然科学进展,1997,7:701~706.
- 6 Maddox R A. Mesoscale Convective Complexes. Bull Amer. soc, 1980,6(11):9~17.
- 7 Orlanski L A. A rational suboivision of scales for atmospheric processes. Bull Amer Meteor Soc, 1975, 56: 527~530.
- 8 郑永光,朱佩君,陈敏等. 1993~1996 黄海及期周边地区  $M_{\alpha}$ CS 的普查分析. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40: 66~72.
- 9 陶祖钰,王洪庆,王旭等. 1995 年中国的中- $\alpha$  尺度对流系统. 气象学报, 1998, 56: 166~177.
- 10 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(11):9~17.

## Mesoscale Convective Systems in Huaihe River Valley Inundation, 2003

Fei Zengping Zheng Yongguang Wang Hongqing

(Laboratory for Storm and Aridity, Department of Atmospheric Science,  
School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

### Abstract

Based on the GOES-9 satellite IR images during inundation from 21 June to 22 July 2003, the mesoscale convective systems are investigated over the Huaihe River region. The results revealed: (1) There are total 10 and 24, the frequency is much larger than the average of an ordinary year. (2) The large number of MCS originated and matured in Huaihe River region is a main cause of this inundation. (3) The formation time of some of MCSs is different from general MCS. (4) The synoptic environment conditions of the MCS are various.

**Key Words:** mesoscale convective system heavy rainfall investigation