侯建忠，陈小婷，乔剑，等. 陕西 MCC 特征分析及预报与减灾对策研究[J]. 灾害学，2016，31(1)：128 - 134. [Hou Jianzhong，Chen Xiaoting，Qiao Jian，et al. MCC Characteristic Analysis and Studies for Forecast and Disaster Reduction Measures in Shaanxi Province[J]. Journal of Catastrophology，2016，31(1)：128 - 134.]

陕西 MCC 特征分析及预报与减灾对策研究*

侯建忠，陈小婷，乔　剑，郭大梅，胡　皓

（陕西省气象台，陕西 西安 710015）

摘　要：运用卫星云图、常规观测资料对发生在陕西的中尺度对流复合体(MCC)的环流形势、水汽输送等特征进行分析。结果表明：陕南出现的 MCC 约占全省总数的 80%，多形成于傍晚至凌晨。陕西出现 MCC 时，200 hPa 有着相似的环流形势，均出现在南压高压的东北侧、副热带高压西北侧边缘偏南暖湿气流区域；对流层中低层，甘南 - 四川东部地区都有低涡或切变配合；地面图上四川东部及陕西南部多为稳定少动的热低压，影响 MCC 的冷平流多经甘肃东部入侵陕西境内，增强了对流中低层的低涡斜压性进而触发对流。云图特征显示：陕西 MCC 以对流单体发展加强形成的居多，这类 MCC 多出现在陕南强降水过程中，具有稳定少动、北伸不明显的特征；也有对流云团合并、冷锋云前部暖区新生对流云团发展加强形成的 MCC，该类 MCC 北伸、东移相对明显。云顶亮温(TBB)显示：陕西 MCC 的强降水出现在 TBB 梯度最大一侧，最大小时降雨量与 TBB 的最低时段对应较好。上述特征对研究陕西致洪暴雨的预报、预警及防灾减灾服务具有很好的借鉴作用。

关键词：陕西；MCC；甘南低涡；高空反气旋环流；地面冷锋；云顶亮温(TBB)；预防提示

中图分类号：P458；X43　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000 - 811X(2016)01 - 0128 - 07

doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2016. 01. 024

陕西地处青藏高原东北侧，秦岭横贯东西，地形复杂，是我国季风降雨向内陆急剧骤减的过渡带，加之该地地形地貌特征多样，下垫面性质复杂，区域内暴雨天气发生频率高，且不同地域的降水情况存在明显差异。一旦发生暴雨往往会引发山洪、泥石流、滑坡、塌方等，以至多次出现局部毁灭性灾害，对这一地区暴雨的研究显得十分重要。

研究表明：中尺度对流系统是暴雨的直接制造者，致洪暴雨往往由于中尺度对流系统持续影响而形成，而 MCC 又是中尺度对流系统中范围最大、最强的降水系统，它也是我国夏季暴雨和洪涝灾害的主要天气系统之一[1-6]。陕西也不例外，特别是 21 世纪以来，在历史罕见且造成重大灾害的洪涝事件中，MCC 都扮演了重要的角色，不少重大暴雨灾害事件都是由 MCC 直接造成的[7-9]，可见对陕西 MCC 特征分析及预报、监测和预警是防灾、减灾关键的一环。

气象工作者虽对 MCC 做了许多研究工作，取得了不少成果，但就陕西而言，多偏重于个例分析，系统性研究陕西 MCC 特征和预报的较少，有必要对其气候规律、生成环境场等方面进行系统分析和研究，这对该地区防灾减灾具有十分重要的意义。

1　资料与方法

本文利用近 10 年(2005 - 2014 年)国家气象卫星中心提供的 FY - 2 卫星逐时云图和云顶亮温 TBB 资料，依照 MCC 的标准[10]，对发生在陕北、关中和陕南不同地域的暴雨过程及致灾情况进行对比分析，筛选陕西的 MCC 个例，从时空分布、环流场、物理因子和预报预警对策等方面进行分析研究，为今后陕西地区 MCC 致洪暴雨的预报、预警及防灾减灾服务提供客观科学的参考依据。

2　陕西 MCC 的时空特征及致灾概况

通过对 10 年的 FY - 2 逐时卫星资料云图及陕西相关降水资料对比分析发现，陕西省满足 MCC 条件的个例共有 14 个，大约年均为 1. 4 个，主要集中在 2005 - 2013 年，其中 2005、2006、2007、

* 收稿日期：2015 - 06 - 23　　修回日期：2015 - 08 - 05

基金项目：公益科研专项“西北地区复杂地形下雷暴及短时强降水预报预警关键技术研究”(GYHY201306006)；中国气象局预报员专项 (CMAYBY2014 - 069)；陕西省气象局 2013 年重点科研项目(2013Z - 1)

作者简介：侯建忠(1960 -)，男，陕西澄城人，正研级高级工程师，主要从事陕西天气气候预测、陕西暴雨、台风远距离暴雨研究. E-mail：hhoujianzhong@ sina. com，hou-988@ sohu. com

2011、2012 和 2013 年均为 2 次，2009、2010 年各有 1 次，2008 年、2014 年未出现。月分布特征：6 月 1 次，7 月 10 次，8 月 3 次。日变化特征：MCC 生成、成熟在后半夜至凌晨 7 次，凌晨至中午 2 次，傍晚至凌晨 5 次。就地域而言，陕北 1 次，关中 2 次，陕南 11 次，可见陕南 MCC 是关注重点，本文不对陕北 MCC 做重点分析。陕北、关中的 3 次 MCC 均出现在 8 月份，且发生、加强在傍晚至凌晨，而陕南的 MCC 后半夜发生、加强和成熟占绝大多数，这一结论与陕西大暴雨发生的时段相一致[11]。

进一步分析发现，陕南有时会连续两日出现 MCC，或者是前一天已出现类似于 MCC（未达到 MCC 标准）的对流云团强降水，次日仍以 MCC 形式产生强降水，如 2005 年 7 月 6－7 日 2 d、2007 年 7 月 4－5 日 2 d、2011 年 7 月 5－6 日 2 d，同时前后两日降水各有特点，其中前 1 d 暴雨范围小，雨强大，以雷雨为主，次日暴雨范围大，雨强小，以普雨为主，暴雨落区较前 1 d 明显偏东，有利于雨区和洪峰叠加，易造成严重洪涝灾害。由此可见从 MCC 分析研究、预报监测角度出发，寻找减少陕西暴雨洪涝及次生灾害方法是提高防灾减灾能力行之有效的手段之一。2005－2014 年陕西 MCC 发生时段，降水特征及灾情概况见表 1。

3　陕西陕南、关中 MCC 的环流及地面特征分析

3.1　300 hPa 高空环流特征分析

通过对陕南、关中出现（以下称陕西）的 13 次 MCC 过程前一时次环流背景分析发现：300 hPa 环流图上陕西几乎都是处在闭合南压高压环流的北侧或东北侧，即南压高压脊线的北侧（图略），常有 980 dagpm 线配合，在 980 dagpm 北侧常常存在一支风速≥40～50 m/s 的高空急流带，这支高空急流带走了 MCC 的上升气流，增强高空辐散，有利于上升运动的维持和加强，而陕西的 MCC 多形成于此高空急流右侧的强辐散区。进一步分析显示，当 MCC 出现在陕南时，高空急流带位置相对偏南，一般在 28°N 附近；当 MCC 出现在关中时，高空急流带位置相对偏北，约在 30°N 附近。同时在该急流带南侧纬向风经向切变较明显，即风速的纬向分量随着纬度向南出现迅速递减现象，这样使得陕西 MCC 恰好处在一个小风速构成的闭合高压环流中心，高空具有强烈辐散。若陕南正好处在该高压环流的东北侧，MCC 就会出现在陕南；若关中正好处在该高压环流的东北侧，MCC 就会出现在关中。

以 2011 年 7 月 5 日的 MCC 为例，4 日 20 时南压高压出现加强，已有闭合的 980dagpm 线配合，四川东部、陕西南部被一小风速构成的闭合高压环流中心控制，高压中心在 30°N，105°E 附近，陕南正好处在该高压环流的东北侧。5 日 08 时急流明显南压，上述的闭合高压环流北侧风速迅速加大，原来的偏西风由 2～4 m/s 加强为 12 m/s，纬向风经向切变非常明显，高压环流中心位置仍在四川东部、陕南南部一带，这时 MCC 已达最强时段。

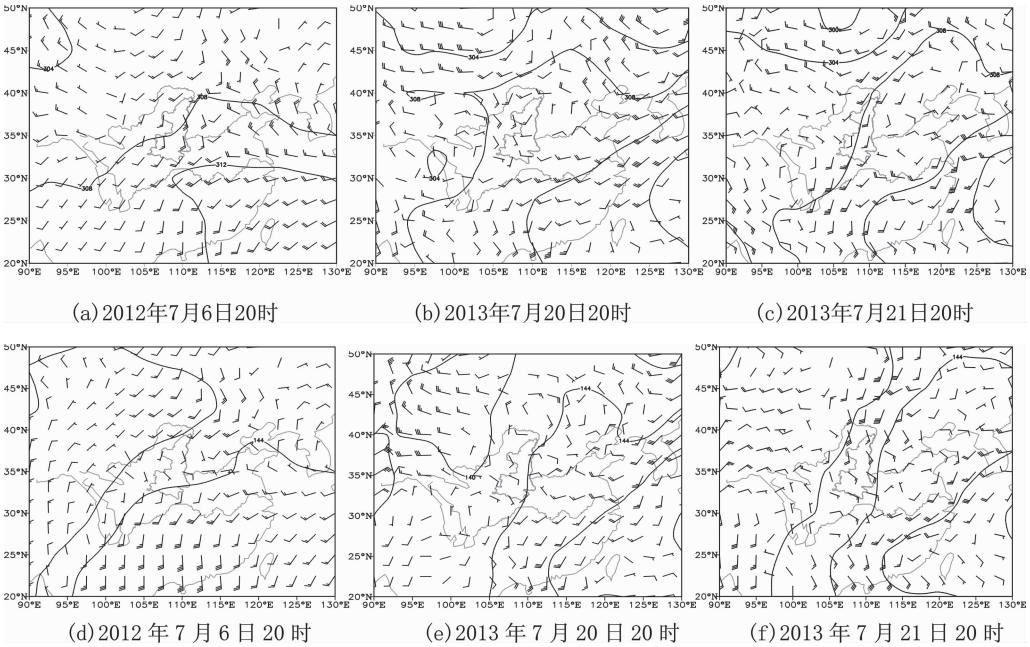
3.2　700 hPa 和 850 hPa 环流特征分析

分析陕西 13 次 MCC 出现前一时次 700 hPa 图（图 1a～c）发现：若 MCC 出现关中、陕南时，有其共同的特征，也有不同之处。当 MCC 出现在陕南时，在甘南武都一带或四川东部地区有低涡环流或明显切变存在，具体位置在武都附近有一个低压环流存在，环流的中心一般在武都与汉中一带，在低涡或切变的东侧，从孟加拉湾经贵州、重庆西部、四川东部都有明显的偏南或西南急流配合，一般风速为 8～12 m/s，一直北伸至陕南；当 MCC 出现在关中时，低压环流或切变位置偏北，具体位置位于武都、合作和榆中之间或者是在合作与武都、平凉一带，而始于孟加拉湾的偏南或西南急流会越过秦岭，一直延伸到关中 MCC 发生区域。这一现象或特征与方宗义等[4]研究指出的，

表 1　2005－2014 年陕西 MCC 发生时段、降水特征及灾情概况

MCC（年 月 日）	MCC 出现地域	MCC 出现时段	暴雨站数及最大降雨量/mm	700 hPa 影响系统	人员伤亡数/人	经济损失/亿元
2005 07 06	陕南西部	03：00－10：00	4，102	甘南切变	7	0.07
2005 07 07	陕南东部	05：00－12：00	6，119	甘南切变		
2006 07 22	陕南	03：00－11：00	4，87	汉中切变	1	0.80
2006 08 15	关中中北	22：00－04：00	9，140	甘陕切变		0.10
2007 07 05	陕南	00：00－10：00	11，172	甘南低涡	2	1.20
2007 08 08	关中中南	20：00－04：00	29，215	甘南低涡	34	8.30
2009 06 19	陕南	06：00－14：00	9，102	甘南低涡	1	
2010 08 01	陕北南部	00：00－07：00	3，103	关北切变		
2011 07 05	陕南西部	03：00－10：00	6，123	甘南低涡	18	1.60
2011 07 06	陕南	08：00－15：00	14，118	甘南低涡		
2012 07 07	陕南西部	22：00－10：00	3，121	甘南低涡		5.60
2012 07 21	陕南东部	18：00－02：00	3，79	甘南切变		0.42
2013 06 20	陕南西部	02：00－12：00	4，77	甘南切变		3.70
2013 07 22	陕南西部	02：00－08：00	10，85	甘南切变	11	10.00

注：甘南切变、低涡，指武都一带有切变、低涡；甘陕指甘肃东部与陕西宝鸡地区；关北指陕北南部与关中北部地区。



(a)2012年7月6日20时 (b)2013年7月20日20时 (c)2013年7月21日20时

(d)2012 年 7 月 6 日 20 时 (e)2013 年 7 月 20 日 20 时 (f)2013 年 7 月 21 日 20 时

图 1 700 hPa(a, b, c)和 850 hPa(d, e, f)高空形势图

中尺度对流系统通常发生在高温高湿的西南风低空急流的最北端和对流层中层短波槽的前方结论相一致。

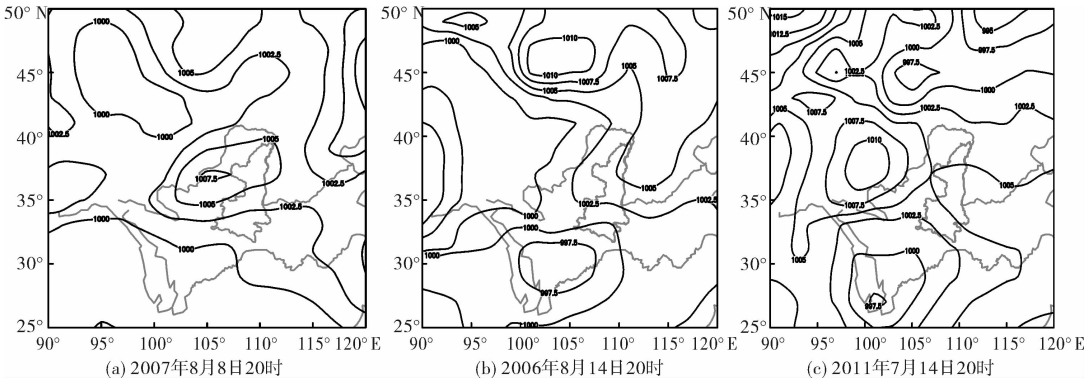
在 850 hPa 图上(图 1d ~ f), MCC 发生的前一时次, 除从孟加拉湾经贵州、重庆西部、四川东部为明显的偏南气流或偏东南配合外, 在秦岭南侧的汉江河谷地带或关中南部地带无一例外吹的都是偏东风或偏东东南风, 所不同的是在风速大小上存在差异; 陕南或关中偏东气流的风速一般在 2 ~ 6 m/s, 一直吹向 MCC 所发生的区域, 为 MCC 的生成、发展提供了低层辐合、抬升条件。当偏东风较强时, MCC 发生的位置就会相应偏西, 陕西境内降水偏弱。如 2013 年 6 月 20 日陕南西部 MCC、2013 年 7 月 21 日陕南西部 MCC、2012 年 7 月 7 日陕南西部 MCC 生成时, 汉中、安康的偏东风达到 6 ~ 10 m/s, 使陕南强降水落区偏西, 甚至强降水中心出现在甘肃武都境内, 陕南西部虽有强降水却未有区域性暴雨出现。以上分析表明关注 850 hPa 偏东气流强弱对预报 MCC 出现的区域及强降水中心落区有较好的指示意义, 也能为陕西防御暴雨灾害和减灾服务提供客观科学的气象参考依据。

3.3 地面特征分析

分析 MCC 个例地面环境场发现, 陕西多数 MCC 的生成、发展有同于华北平原的 MCC 的地方, 位于冷锋前的暖区中[5]或有明显冷锋配合[7]。大多数 MCC 过程中四川及陕南一带为一闭合低压中心或低压区, 而 MCC 出现在陕南或关中地区时存在一定差异。当 MCC 出现在关中地区时, 地面环境场上虽有冷锋配合, 但冷空气主体活动在关中境内, 冷空气移动路径一条是从甘肃东部的西北路南下, 如 2007 年 8 月 8 日发生在关中的 MCC(图 2a), 另外一条是从陕西东侧经山西进入陕西境内, 如 2006 年 8 月 14 日发生在关中的 MCC(见图 2b)。当 MCC 出现在陕南地区时, 地面环境场上四川闭合低压中心东西向特征明显, 同时等压线密集、气压梯度较大, 地面图上也有冷锋配合, 冷空气主体多在甘肃中东部, 一般从甘肃甘南一带南压或南移, 经过武都进入陕南西部的汉中附近, 如 2011 年 7 月 4 日发生在陕南的 MCC(图 2c), 可见关注地面冷空气及冷锋的移动路径对陕西 MCC 发生、发展及出现的地域十分关键。

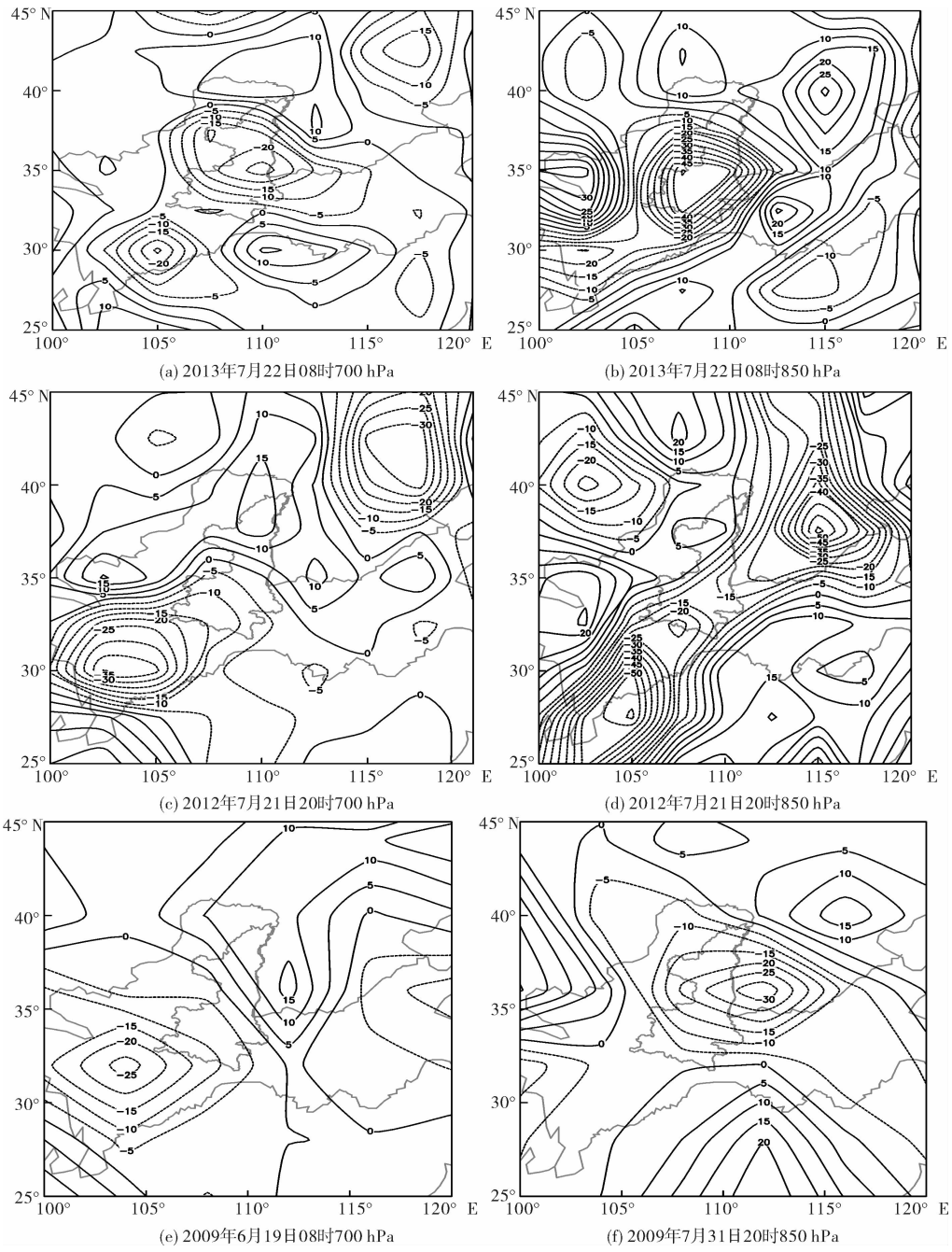
已有研究表明[12-13], 当冷空气从武都涡的西北部侵入时, 使得从而武都涡区斜压性加强, 也促使武都低涡快速发展, 激发 MCC 加强、发展。这类 MCC 前期多有较强偏西南暖湿气流输送, 其低涡东侧存在明显的偏南或东南暖平流输送, 降水具有强对流特征, 多有雷雨相伴, 短时雨强明显偏大, 强降水区域相对偏小, 如: 2011 年 7 月 5 日发生在陕南的 MCC, 南郑县 07 时 1 h 降水达 50.6 mm。这种形势的 MCC 稳定少动、移动性较小。陕南生成的 MCC 也有冷空气是通过高后形势入侵, 即冷空气从关中东部、河南西部或湖北西部进入陕西南部、四川东部。这类 MCC 普雨型降水特征明显, 降水区域相对偏大一些, 短时雨强较前一类要小, MCC 北伸特征明显。如: 2013 年 7 月 22 日发生在陕南的 MCC, 商南县 07 时 1h 降水约为 31.6 mm。

由上述地面环境场分析可见, 正是由于高空大气增温、增湿, 即在对流中低层从孟加拉湾或



(a) 2007年8月8日20时　(b) 2006年8月14日20时　(c) 2011年7月14日20时

图 2　陕西发生 MCC 时的地面形势图



(a) 2013年7月22日08时700 hPa　(b) 2013年7月22日08时850 hPa

(c) 2012年7月21日20时700 hPa　(d) 2012年7月21日20时850 hPa

(e) 2009年6月19日08时700 hPa　(f) 2009年7月31日20时850 hPa

图 3　水汽通量散度图（单位：10 − 7 g · s^{-1} · hPa^{-1} · cm^{-2}）

南海有明显的暖湿气流输送，致使地面气压出现迅速降低或维持，使得四川及陕南一带基本为一闭合的低压中心或低压区，表明陕西 MCC 时前期能量和水汽的积聚持续而显著，可见 MCC 前期或事先关注地面热低压位置和冷锋移动路径对暴雨落区预报具有一定指示意义。

4 陕西 MCC 的水汽输送特征分析

水汽是产生区域性暴雨的重要条件，尤其对内陆地区来讲，由 MCC 所引发的暴雨更是如此，因为 MCC 对水汽条件要求较高，一般 MCC 都是发生在高湿、高温环境场中。分析陕西 MCC 所引发的暴雨水汽场的情况(图略)发现，其水汽的水平输送主要集中在对流层中低层的 850～700 hPa。通过 850～700 hPa 的偏南暖湿气流将水汽输送至暴雨区上空，低层暖湿气流输送进一步增加了 MCC 区域大气不稳定度，为 MCC 所引发的暴雨提供了充足的、源源不断的水汽和能量[3]。文中选择既能代表水汽输送又可反映大气低层辐合状况的水汽通量散度来做分析。

众所周知，当暴雨区存在水汽通量散度负值区，说明具有很强的水汽辐合，这一点通过 MCC 过程中的水汽通量散度图可得到很好验证。在陕西 13 次 MCC 暴雨过程中，其水汽通量散度图上均有明显的水汽辐合存在，只是不同的过程之间的强度有所差异。其中 850 hPa 上水汽通量散度辐合明显的情形有 6 次(如 2007 年 7 月 5 日、2010 年 8 月 1 日、2012 年 7 月 21 日等)，700 hPa 水汽通量散度辐合明显的情形有 2 次(如 2012 年 7 月 7 日等)。对于暴雨范围广、雨强强的 MCC 暴雨过程，850、700 hPa 两个高度上水汽通量散度辐合均十分明显，这种情况有 4 次(如 2007 年 8 月 8 日、2009 年 6 月 19 日、2013 年 7 月 21 日等)。其中 2013 年 7 月 22 日陕南 MCC 过程中，7 月 22 日 08 时 700 hPa 水汽通量散度图(图 3a)可以看出，水汽通量辐合中心出现在四川东北部、陕南及关中地区，中心值为 -50×10^{-5} g·cm^{-2}·hPa^{-1}·s^{-1}，而在 850 hPa 图上(图 3b)，四川东北部、陕南西部、关中大部为一个水汽通量辐合带，中心值达到 -50×10^{-5} g·cm^{-2}·hPa^{-1}·s^{-1}。需要强调的是这次 MCC 过程中，陕北也有大范围的强降水出现，使得水汽通量辐合中心较其他个例略显偏北一些，同时也说明对流层中层的水汽通量辐合中心对陕北的大范围降水有一定的指示意义。这种充足的水汽加之强的辐合场配置使陕西中北部产生强降水。

5 MCC 云团特征分析

卫星云图具有能及时、宏观、直观和高频次地监测强降水云团从一个对流小单体到发生、发展和加强移动整个过程演变的特点，同时还可利用云顶亮温 TBB 梯度最大一侧来确定暴雨的落区。目前业务运行的卫星云图已可达到每 0.5 h 一次的时效。

5.1 MCC 云团特征及移动规律

通过对陕西 13 次 MCC 过程的云图分析发现，多数个例中，MCC 主要是由小块状积云团从四川东北部东移发展或合并加强形成的。其中伴随冷锋云系，在东移过程中由冷锋前部暖区新生对流云团发展加强成 MCC 有 4 次(图 4a、4b)，这类 MCC 关中、陕南均可出现，其降水范围大，累计雨量大，如 2007 年 8 月 8 日关中的 MCC 过程中，有 8 站日降水量超过建站以来的极大值；由对流单体发展加强形成的 MCC 有 6 次，这类 MCC 基本出现在陕南地区，它们多在四川东北部由对流单体发展加强形成，即其主体多在大巴山以南加强发展，它们当中有一类相对稳定少动(图 4c、4d)，另一类北伸特征相对明显(图 4e、4f)；由几个对流云团合并形成的 MCC 有 3 次，基本是发生在秦岭以南的陕南地区，这类合并形成的 MCC 与上述陕南的后一类 MCC 特征有一个共同之处，即北伸特点相对明显。通过对其环流分析发现，造成这类 MCC 北伸特征相对明显的主要原因是在 700 hPa 图上有明显偏南急流配合，如 2009 年 7 月 15 日、2012 年 7 月 7 日、2013 年 6 月 19 日等 MCC 过程中，其 700 hPa 图上偏南气流均超过 10～12 m/s。另外分析还发现，几乎陕西所有的 MCC 在接近或处于成熟时期，其云团的云顶多可伸展至对流层高层 200 hPa 附近，而 MCC 云团的云砧多数会伸向西南方向，出现这种特征原因是 MCC 多处在对流层高层的南亚高压东北侧，它是由南亚高压东北侧的偏东北急流引导所致。

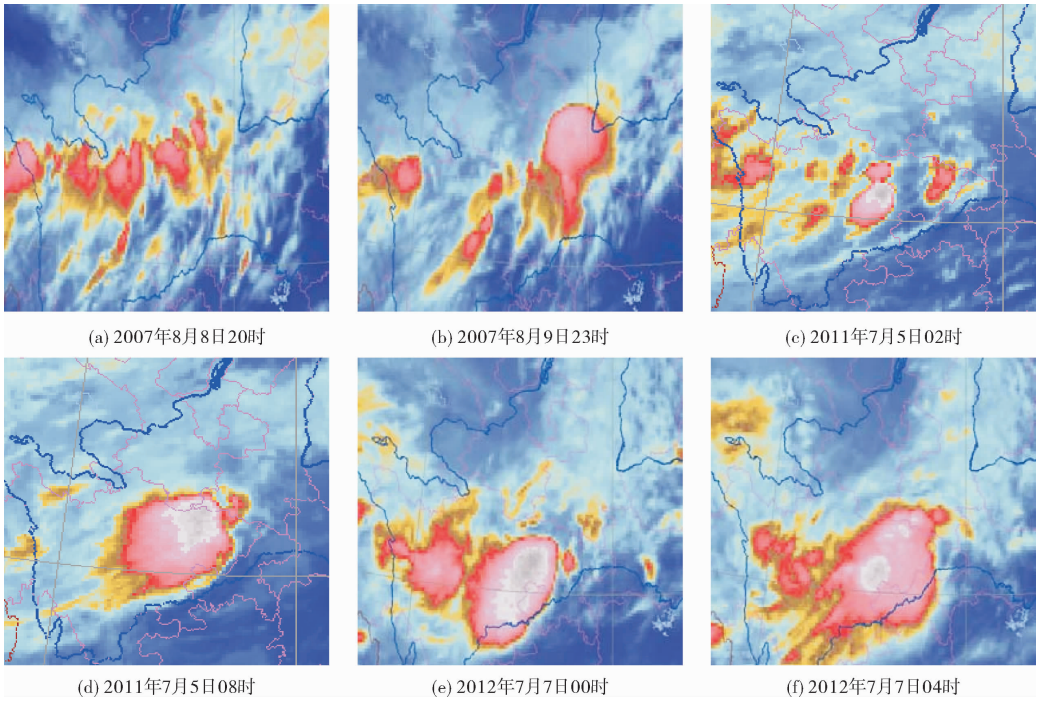
进一步对发生在陕南地区的 MCC 云图归类分析还发现，不少的 MCC 在加强发展到最强时刻在其的北侧，会有小的对流云团新生，这个新生的对流云团则是陕南或当地强降水的直接制造者(图 4d、4f)，如 2011 年 7 月 5 日的 MCC 过程中，南郑县 5 日 07 时 1 h 降水 50.6 mm。虽然目前对它的生成和形成机制还不能很好地解释，但可以利用雷达回波对其强降水落区进行定位，以确定强降水的灾害区域，使强降水区域能够及时采取应对措施并予以重点防御。

5.2 MCC 云团云顶亮温特征

运用云顶亮温(TBB)能够有效地揭示、判别 MCC 发展、加强及成熟期不同阶段，确定 MCC 的强降水时段和落区。有研究成果表明 MCC 发展到成熟期往往是影响和造成当地降水最强时刻，强降水落区多位于云顶温度梯度最大一侧。分析陕西的 13 次 MCC 过程有同样的结论(表 2)。本文以 2011 年 7 月 5 日陕南和 2007 年 8 月 8 日关中出现的 MCC 过程为例进行具体分析。

表 2 陕西部分 MCC 相关及降水特征

MCC(年 月 日)	强降水的落区	MCC 最强盛时刻及云顶亮温 TBB/℃	最大降水量/mm/h(站)	强降水出现在云顶亮温梯度何处位置	MCC 云团移动路径
2007 08 08	关中中部	23：00	63 mm(咸阳)	−72℃	云团西北侧亮温较大处	甘肃境内生成东移
2007 08 09	关中中部	00：00	92 mm(高陵)	−74℃	云团西北侧亮温较大处	关中东移加强发展
2011 07 05	陕南西部	07：00	51 mm(南郑)	−60℃	云团西北侧亮温较大处	四川境内生成北移
2011 07 06	陕南中部	14：00	25 mm(镇巴)	−53℃	云团西北侧亮温较大处	陕西南部合并生成
2012 07 21	关中东、陕南东部	17：00	40 mm(合阳)	−67℃	云团东北侧亮温较大处	锋面前部对流云团发展



(a) 2007年8月8日20时　(b) 2007年8月9日23时　(c) 2011年7月5日02时

(d) 2011年7月5日08时　(e) 2012年7月7日00时　(f) 2012年7月7日04时

图 4　陕西 MCC 云图特征图例

2011 年 7 月 5 日夜间，在前期无任何云团的情况下，5 日 01：00 红外云图上显示，四川东部、重庆地区有由小的亮点发展成较大的边界光滑整齐的 2 个对流云团(图 4c)，02：00 云团已合并为一个云团，03：00 合并云团迅速发展，具有 MCC 的特征，冷云面积大幅度增加，TBB ≤ －52℃的云罩面积约为 4×10^4 km^2，TBB≤ －32℃的云罩面积约为 5×10^4 km^2，06：00 云团强盛发展成为 MCC。07：00 冷云面积扩展到最大，MCC 发展到最强，TBB≤ －52℃的云罩面积约为 18×10^4 km^2，TBB≤ －32℃的云罩面积约为 22×10^4 km^2，椭圆率 >0.7，占据四川东北部及陕南汉中部分地区，此时对流发展最为强盛，TBB 等值线在 MCC 云团东北侧非常密集(即云顶亮温梯度大)(图 4d)，而强降水位于 TBB 等值线非常密集一侧。在 MCC 的东北边界还有一个类似小角的新对流单体云团生成，陕南地区的强降水就是由这个小角云团直接造成(这点在汉中雷达回波也得到印证)。南郑县 07 时 1 h 降水 50.6 mm，汉滨区 08 时 1 h 降水 44.9 mm，从 08：00 开始，MCC 云团开始减弱，TBB≤ －52℃的冷云区面积大幅度减小，11：00 时云团不再具有 MCC 特征，陕南地区内已无大于 10 mm/h 的降水。MCC 持续长达约 7 h。

2007 年 8 月 8 日 21 时，随着锋面东移，原在陇县的一个对流单体与眉县的另一对流云带合并，合并后的 MCC 云团在原地突然发展为一个 TBB ≤ 52 ℃的云罩面积约为 19×10^4 km^2，中心强度达 －72 ℃，西北－东南向的椭圆形云团，TBB 等值线在 MCC 云团西北侧和东侧非常密集，在 MCC 云团的南部比较稀疏，意味着北部将进一步发展加强。22 时，云团 MCC 东扩加强明显，TBB 达 －74 ℃，云团已发展为成熟期，－32 ℃ 和 －52 ℃ 的云罩面积约为 11×10^4 km^2、51×10^4 km^2，已达到 MCC 标准，乾县 22 时 1 h 降水 58.4 mm。23 时，云团面积继续增长，中心强度维持 －74 ℃，但范围扩大至最大，说明发展到最强时刻，接近成熟阶段，此时云团长轴线转变为东北－西南向(见图 4b)，咸阳 23 时 1 h 降水 63.4 mm。9 日 00 时，MCC 面积达到最大，－32 ℃ 、－52 ℃ 的云罩面积约 18×10^4 km^{2}和 17×10^4 km^2，中心强度仍为 －74 ℃，高陵县 00 时 1 h 降水 92.1 mm，泾河 1 h 降水 66.0 mm，三原 1h 降水 46.0 mm。01 时，MCC 已明显减弱，－72℃ 以下 TBB 范围已经消失，中心强度减小到 －71℃，但 －32℃ 、－52℃ 的云罩面积并未减小，甚至 －52 ℃ 的面积还在增大，但强降水却明显减小，仅有蓝田 01 时 1 h 降水 31.2 mm。02 时，MCC 云团减弱更加明显，尤其是北部云团减弱的特别明显，－62 ℃ 的等值线在秦岭北部消失，只出现在秦岭南部，并且分裂为 2 个小中心，表明 MCC 处于消亡时期，关中地区内已无大于 10.0 mm/h 的降水。MCC 持续长达约 8 h。

上述两例 MCC 云图分析显示，MCC 达到最强时，也是强降水的最大时刻，强降水位于 TBB 等值线非常密集一侧，随后强降水趋于减弱阶段，这一特征对准确预报、监测和预警该类致灾性暴雨落区、时段是非常有效的。也是提高关中、陕南防灾减灾能力的一个关键措施和手段之一。

6　结论与防御提示

陕西的 MCC 约年均 1.4 个。陕南占 1.1 次，陕南基本发生在 7 月份，关中都在 8 月份。关中的 MCC 生成加强在傍晚至凌晨，陕南的 MCC 多在后半夜生成、加强和成熟，可见陕南 MCC 生成、发展是陕西关注的重点，这一结论与陕西大暴雨发生的时段一致，值得密切关注。特别是对陕南致

洪暴雨的预报、预警及防灾减灾服务具有较强的针对性。

环流特征显示：陕西的 MCC 多出现在南压高压的东北侧、副热带高压西北侧边缘偏南暖湿气流区域；对流中低层，甘南—四川东部地区都有低涡或切变配合；地面图上四川东部及陕西南部多为稳定少动的热低压。当冷空气主体在关中地区时，应考虑确定关中地区可能出现 MCC；当冷空气主体在甘肃，在甘肃甘南一带南压或南移时，考虑陕南地区可能出现 MCC。在这种情形下，就应加强短临预报、预警和云图、雷达及加密雨量实况的实时监测，及时与防汛部门协作互动，为当地防汛部门提供精细化的降水强度和落区预报、预警，采取有效的应对措施、积极防御，以减少人民群众财产损失和人员伤亡。

云图特征显示：陕西 MCC 以对流单体发展加强形成的居多，这类 MCC 多出现在陕南强降水过程，具有稳定少动，北伸特征不明显；也有对流云团合并和从冷锋云前部暖区新生对流云团发展加强成的，该类 MCC 北伸、东移相对明显。强降水多发生在 MCC 的 TBB 北侧或东北侧边界的等值线密集区，最大小时降雨量与 TBB 的最低时段对应较好。对于陕南不少的 MCC 来讲，在加强发展到最强时刻，其东北边界新生的对流单体云团是陕南强降水的直接造成者，这点值得在今后预报中高度重视。运用上述陕西 MCC 云图特征可以较准确的确定强降水的落区，能为防汛部门提供科学、准确和及时的短临预报。

参考文献：

[1] 马禹，王旭，陶祖钰. 中国及其相邻地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征[J]. 自然科学进展，1997，7(6)：701－706.

[2] 杨本湘，江吉喜，方宗义. MCC 和一般暴雨云团发生发展的物理条件差异[J]. 应用气象学报，2004，15(5)：590－600.

[3] 杨本湘，陶祖钰. 青藏高原东南侧 MCC 的地域特点分析[J]. 气象学报，2005，63(2)：236－242.

[4] 方宗义，覃丹宇. 暴雨云团的卫星监测和研究进展[J]. 应用气象学报，2006，17(5)：583－593.

[5] 吕艳彬，郑永光，李亚萍，等. 华北平原中尺度对流复合体发生的环境和条件[J]. 应用气象学报，2002，13(4)：406－412.

[6] 覃丹宇，方宗义，江吉喜，等. MCC 和一般暴雨云团发生发展的环境场差异[J]. 应用气象学报，2004，15(5)：590－600.

[7] 侯建忠，孙伟，杜继稳. 青藏高原东北侧一次 MCC 的环境流场及动力分析[J]. 高原气象，2005，24(5)：805－810.

[8] 刘勇，杜川利. 黄土高原一次突发性大暴雨过程的诊断分析[J]. 高原气象，2006，25(2)：302－307.

[9] 井 喜，高青云，杨静，等. 两个不同降水量级的 MCC 对比分析[J]. 高原气象，2011，30(2)：328－338.

[10] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京：气象出版社，2005：443－452.

[11] 张列锐，侯建忠，王川，等. 陕西大暴雨时空分布特征及减灾对策[J]. 灾害学，1999，14(2)：38－41.

[12] 白肇烨，徐国昌. 中国西北天气[M]. 北京：气象出版社，1988：218－229.

[13] 潘旸，李建，宇如聪. 东移西南涡空间结构的气候特征[J]. 气候与环境研究，2011，16(1)：67－68.

MCC Characteristic Analysis and Studies for Forecast and Disaster Reduction Measures in Shaanxi Province

Hou Jianzhong, Chen Xiaoting, Qiao Jian, Guo Damei and Hu Hao

(*Shaanxi Meteorological Observatory*, *Xi'an* 710015, *China*)

Abstract: Based on satellite cloud images and conventional observation data, the characteristics of the circulation situation and water vapor transportation of the mesoscale convective complex (MCC) in Shaanxi are analyzed. Results show that: MCC occurred in southern Shaanxi accounts for about 80 percent of Shaanxi province's total, most of them formed in the evening to morning. 200 hPa has similar circulation situation: all MCC appeared on the northeastern side of the high-pressure southward, in the warm and wet flow region on northwest side of subtropical high pressure; In middle and lower troposphere exist vortex or shear from Gannan to eastern Sichuan; On the ground chart, the hot low pressure in eastern Sichuan and southern Shaanxi is more stable. Cold advection which effect MCC go through eastern part of Gansu intrusion Shaanxi Province, and enhance the baroclinicity of low vortex in middle and lower troposphere and triggered convective; Cloud images feature shows: the majority of MCC formed in Shaanxi are developing and strengthened from convective cell, such MCC appeared in southern Shaanxi heavy rainfall process, with stable and less moving, north extension is not obvious characteristics; Another type of MCC is formed by convection clouds merging, developing and strengthened from new born convective cloud cluster in warm area of cold front cloud, such MCC north extension and move towards east obviously; Cloud Top Brightness Temperature (TBB) displayed: the strong precipitation of MCC in Shaanxi is at the maximum side of the TBB gradient, and the maximum hourly rainfall best matches the time of TBB lowest value. Above features are good reference for the study of the flood and rainstorm forecast, early warning and disaster reduction service in Shaanxi.

Key words: Shaanxi province; MCC; Gannan vortex; high-level anticyclone; surface cold front; TBB; prevention tips