FY-2产品在济南"7.18"大暴雨临近预报中的应用

尹承美 卓 鸿 胡 鹏 冉桂平 刘爱梅 杨芙蓉 李艳平

(山东省济南市气象局 250002)

提 要:利用常规观测资料、地面加密资料和FY-2产品对济南市"7.18"大暴雨的天气形势、云图演变特征及中尺度系统发生、发展和移动的情况进行了分析。结果表明:地面的中尺度辐合中心和中尺度辐合线是造成此次大暴雨的直接原因;强降水发生在中尺度低压中心附近,随其移动而移动;在减弱的云团右后方不断有新的云团生成,从γ尺度发展到β尺度,水汽条件充足时发展成边界清晰、结构密实的α尺度;大暴雨中心与云顶亮温TBB的最低值中心及强度有密切关系;FY-2产品在大暴雨临近预报中发挥着重要作用。

关键词:大暴雨 中尺度对流系统 卫星云图 TBB 强对流天气 临近预报

The Application of FY-2 Satellite Products to Jinan Severe Heavy Rain Nowcasting on 18 July 2007

Yin Chengmei Zhuo Hong Hu Peng Ran Guiping Liu Aimei Yang Furong Li Yanping

(Jinan Meteorological Observatory, Shandong Province 250002)

Abstract: With the conventional and intensive observation data and FY-2 satellite products, the mesoscale convective systems (MCSs) that caused the "7.18" severe heavy rain over Jinan are analyzed. The meso-scale convergence center and line played important roles. Furthermore, the severe heavy rain occurred near the center of meso-scale low pressure and accompanied with them. The new cloud clusters which generated behind the right rear of the weakened clouds developed from meso-γ to meso-β scale. Under enough vapor conditions, they expanded into compacted α-scale clouds with a clear edge that directly caused the severe heavy rain. The maximum precipitation was strongly related to the lowest TBB measured by FY-2 satellite, therefore, FY-2 satellite products is very important in nowcasting.

Key Words: heavy rain MCSs satellite FY-2 products TBB severe convective weather nowcasting

收稿日期:2007年9月28日; 修定稿日期:2007年11月8日

引 言

通常将气象卫星红外通道的观测值以相当黑体温度(TBB)表示,并且称之为"亮度温度"或者"亮温"。TBB资料可以揭示云在演变过程中的一些显著特征,因此,可以根据TBB资料推断天气系统的强度、移动以及可能伴随的天气现象。

国内在这方面开展了大量的研究,文献[1]的研究表明暴雨和强对流都是由于中尺度系统引起的。李培军等[2]提出冷云区持续时间估计法、红外亮温法,并考虑了梯度、发展率因子。这些研究为气象卫星TBB资料对中尺度对流系统的监测及短时预报可提供有力的帮助。

中尺度对流系统,简称MCS,是中国主要的暴雨系统之一。中国是MCS的多发区,每年都有MCS造成暴雨灾害。红外云图可以清楚地揭示MCS的发生和发展。利用红外云图对MCS以及降水估计已有大量的研究[3-5]。本文从大尺度环流背景、地面流场、卫星云图等方面对2007年7月18日济南大暴雨过程进行分析,展示卫星云图TBB在临近预报中的重要作用。其目的在于加深对这类天气的认识,提高对这类天气的预报能力。

1 概况

2007年7月18日,济南市出现罕见的大暴雨天气,18日08时至19日08时,全市平均降水量为82.3mm(包括水利部门自动站平均,下同),全市最大降雨量出现在市政府自动站,降雨量达182.7mm,市区平均降水量为142.2mm,有19个站降雨量超过100mm,其中,有11个站降雨量超过140mm,有4个站降雨量超过160mm(见图1)。

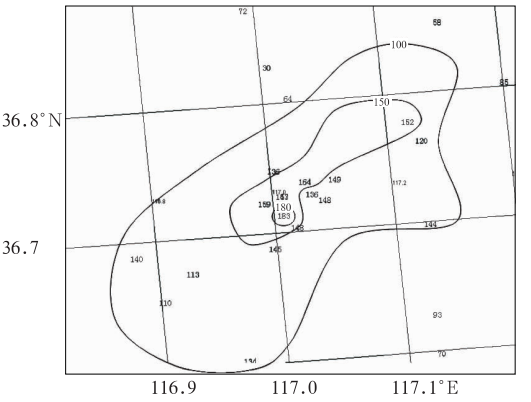

图1 2007年7月18日08时至7月19日08时降雨量

这次降水过程历时时间短、雨量大。从这次过程的降水分布、降水强度来看,是由中小尺度系统造成的。这次降雨市区自18日16时后开始,雨量分布及降水强度具有明显的中尺度特征:①降雨时段集中,具有明显的阵性。17日17—20时市政府自动站3小时降雨量达162.5mm,占整个过程降雨量的91.7%;龟山观测站3小时降雨量达145.0mm,占整个过程降雨量的94.7%。②强降雨范围小,雨量分布较为集中。由过程雨量分布可见,大于150mm的范围主要集中在市政府到龟山观测站之间以及历城的部分地区,雨带呈东西向近椭圆形。③降水强度大。市政府自动站1小时最大降雨量为84.9mm,龟山观测站1小时最大降雨量为81.6mm。在主要降雨时段,两个站的雨强均≥50mm/h,具有强对流降雨特征。

这次大暴雨给人民生命财产造成严重损失:人员伤亡,市区低洼地区积水,大部分路段交通瘫痪,市区内受损车辆802辆,毁坏市区道路14000m^2,冲失井盖1500多个,移位3400多个;先后造成26条线路停电;多处商场商品被淹,其中银座地下商城损失达5000多万元,这次大暴雨造成的经济损失总计在12.3亿元左右。

2　形势场分析

7 月 17 日 20 时济南位于 200hPa 高空急流出口区的右侧;500hPa 西太平洋副热带高压逐渐增强西伸北抬,与中纬度大陆高压脊在华东沿海同位相叠加,使得中纬度环流经向度加大。西南低涡和华东沿海高压脊之间的气压梯度增大,从华南沿海到山东形成较强的西南急流,将暖湿气流源源不断地输送到暴雨区上空;700hPa 西南低空急流已经形成,风速在 12m·s^{-1}或以上,风速辐合在鲁西南、鲁中南部,河套南部有闭合的气旋性环流;850hPa 西南低空急流有所加强,河套有闭合低涡。

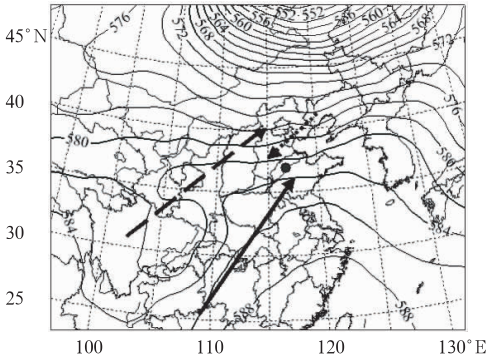

图 2　2007 年 7 月 18 日 08 时 500hPa 形势场
细实线为 500hPa 高度场,实箭矢为低空急流,
点虚线箭矢为低层冷空气,长虚线箭矢
为 θ_e 高能轴,圆圈处为济南

18 日 08 时济南仍位于 200hPa 高空急流出口区的右侧,且高空急流有所加强;500hPa 副高略有南落,槽线由经向转为东北至西南向;700hPa 西南风低空急流进一步加强,沿内蒙古、北京、河北、山西、陕西存在明显的东北至西南向切变;850hPa 西南风低空急流进一步加强,河套低涡演变成沿内蒙古、北京、陕西一线近纬向的切变线。850～700hPa 从华南沿海到山东形成较强的西南低空急流,建立起向山东的水汽通道,将华南沿海的暖湿气流源源不断地向暴雨区上空输送,为大暴雨提供了充沛的水汽条件[6]。济南位于低空急流出口区的左侧。18 日 20 时 500hPa 槽线比较宽广,本站转为偏西风。700hPa 切变线移到潍坊、淄博、泰安、荷泽一线;850hPa 切变线过济南。由于冷空气的侵入,切变线变成东北至西南向,且济南附近曲率最大,随着低层切变线的移过,济南强降水逐渐结束。

由此可见,大暴雨产生在 200hPa 高空急流出口区右侧,低空急流出口区左侧,850hPa 切变线附近。

3　能量场分析

18 日 08 时 500hPa 和 700hPa θ_{se} 高能区(图略)均在山东的西北方,本站分别为 71℃和 75℃,850hPa θ_{se} 高能区边缘到达山东边界,本站为 83℃;18 日 14 时 500hPa 和 700hPa θ_{se} 高能区逐渐东南移,已经到达山东西北边界,本站数值分别为 74℃和 76℃,850hPa 高能区继续东南移,高能轴沿黄河走向且靠近本站,本站高达 87℃,18 日 14 时以后,随着低层高能轴的靠近,济南北部的商河开始出现降雨;18 日 20 时本站位于 500hPa θ_{se} 高能轴附近,本站为 76℃,700hPa θ_{se} 高能轴转变成纬向,高能区南移比较缓慢,本站为 77℃,850hPa θ_{se} 高能轴转变成纬向,高能区南移比较缓慢,本站为 88℃,8 日 14—20 时,济南上空 θ_{se} 能量较大,全市在该时段内出现了强降水。这种增能同整个对流层内的增湿同步,能量的增加主要是由增湿所致,能量的聚集是暴雨的前兆条件。19 日 02 时以后,低层 θ_{se} 高能区明显南移到鲁东南到半岛一线,本站降雨逐渐结束。

18 日 08 时,济南上空 900～200hPa 为不稳定层结,CAPE 值达到 2835J·kg^{-1},说

明济南在强降雨发生前，不仅处于强烈的不稳定层结，而且不稳定能量的积累达到了较高的量级，这是对流性暴雨的重要条件，当有触发机制时，非常有利于出现强对流天气。

4 中尺度特征分析

分析1小时一次的地面加密观测站资料（图3）可见，18日14时在鲁西北的南部37.5°N附近存在中尺度辐合线；在济南北部的商河站以北存在中尺度低压，其中心位于37.4°N附近；15时中尺度低压缓慢南移，其中心位于37.1°N附近，北部的商河县14:54开始出现降水，到15时雨量只有0.8mm；16时随着冷空气的缓慢南移，中尺度辐合中心南移到37.0°N附近，15—16时商河县1小时降雨量达到104.2mm；17时中尺度地面低压中心位于济南上空，龟山观测站17:20开始出现降水，17—18时市区龟山观测站1小时降雨量达到42.3mm；18时中尺度低压中心已压过本站，其中心位于36.4°N，17—18时市区龟山观测站1小时降雨量达到81.6mm；19时以后中尺度辐合线和中尺度低压中心缓慢南移，市区强降水逐渐结束。

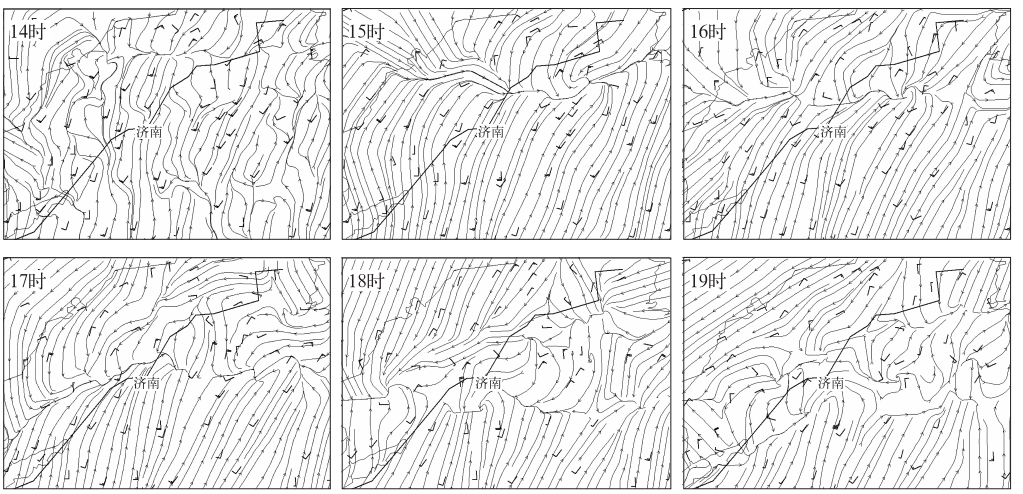

图3 2007年7月18日14—19时地面风场和流场演变图

由此可见，地面存在中尺度辐合中心或辐合线生成和发展，地面辐合线的存在是这次大暴雨产生的启动机制。强降水就发生在中尺度低压中心附近，随其移动而移动。中尺度辐合中心的移动方向对雨量中心未来的移向有很大影响，最大雨量中心位于辐合中心的后方。

5 云图资料分析

5.1 红外云图

分析降雨过程的红外云图（图4）可见，18日12:30在鲁西北北部有中-β尺度的云团A生成，同时在山西中部到晋、冀交界处有多块中-γ尺度的零散云团产成。13:00云团A和其尾部新生成的中-γ尺度的云团合并；山西中部到晋、冀交界处的多块中-γ尺度的零散云团逐渐发展成中-β尺度的云团B1、B2和B3；13:30云团A的强度加强，范围扩大，开始影响鲁西北的大部，云团北部边缘温度梯度小，而云团南部边缘温度等值线密集、温度梯度大，预示该云团未来将向南部发展扩大；云团B1、B2、B3强度加强，范围扩大，并且有合并的趋势；同时，在晋、冀、豫

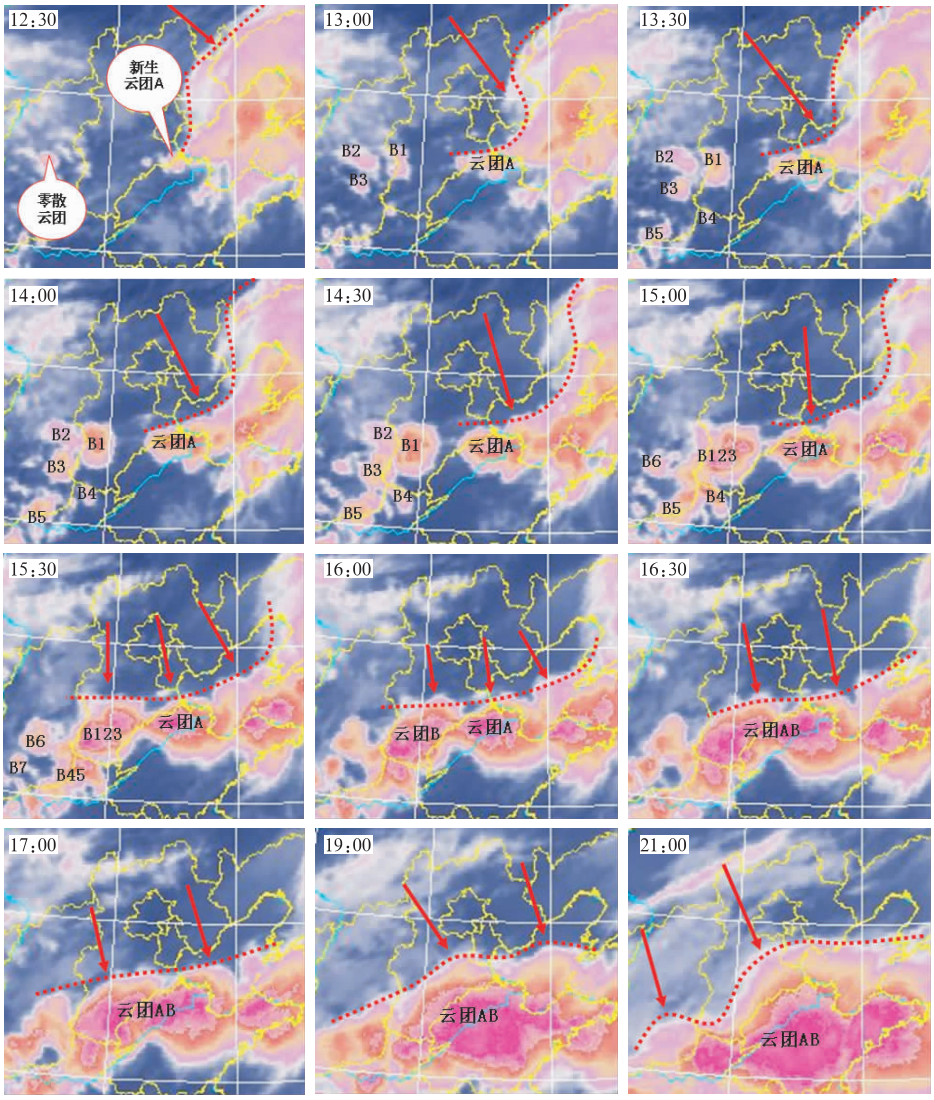

图 4　2007 年 7 月 18 日红外云图演变

虚线为低层冷空气前沿,实箭矢为低层冷空气移动路径

交界处又有中-γ 尺度的云团 B4 和 B5 生成。14:00 云团 A 的强度继续加强,范围迅速扩大;云团 B1、B2、B3 合并成云团 B123;云团 B4 和云团 B5 的强度有所加强,范围逐渐扩大。14:30 云团 A 的强度继续加强,范围继续向南部发展扩大,济南北部的商河县受其南部边缘影响,14:54 开始出现雷阵雨天气;云团 B123 和云团 B4、B5 有合并的趋势。15:00 受云团 A 的影响,商河的大部地区已出现降水,但雨量较小;云团 B123 和云团 B4、B5 范围逐渐扩大,开始合并。15:30 云团 A 继续缓慢南移,受其影响,商河的部分测站降雨量已经超过 50mm,紧邻市区的济阳县 15:32 开始出现雷电,15:47 开始出现降水;云团 B123 和云团 B4、B5 以及云团 B6 尾部新生成的云团 B7 逐渐合并成中-α 尺度

的云团 B;16:00 云团 A 和云团 B 的强度继续加强,范围继续扩大,合并成云团 AB;16:30云团 AB 强度继续加强,范围进一步扩大,受其边缘影响,济南市区的北部已经开始出现雷阵雨;17:00 对流云团中心在济南附近,市区南部的龟山观测站 17:20 开始出现强降水,并伴有雷电和短时雷雨大风。自 17:30 至 20:30,云团 AB 缓慢向西南方向移动,强中心经市区缓慢南移;由于对流强盛,造成济南市区出现了强降水、雷电和大风,21 个区域自动站中的 19 个站降雨量在 100mm 以上;20:30 以后市区强降水逐渐结束,云团继续缓慢南移。

大环流背景下,在冷空气前部的暖区经常有中尺度对流系统发生。分析这次过程的云图可以发现:在减弱的云团右后方不断有新的云团生成,从 γ 尺度发展到 β 尺度,水汽条件充足时发展成边界清晰,结构密实的 α 尺度,它们是造成此次大暴雨的直接影响系统。

5.2 云团面积、云顶亮温以及云团中心的演变

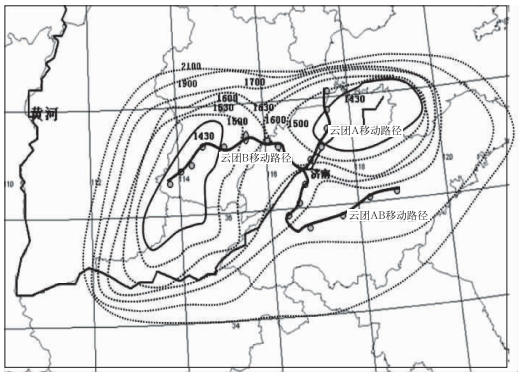

图 5 2007 年 7 月 18 日 12—21 时云团中心移动路径图

细线为云团廓线,实线为云团中心移动路径

表 1 2007 年 7 月 18 日 14—17 时云团 A 和云团 B 演变

时间	云团 A					云团 B				
	中心位置	面积	最低 TBB	演变趋势	1 小时最大降水	中心位置	面积	最低 TBB	演变趋势	1 小时最大降水
14:00	37.8°N、118.2°E	23021	−74.24	和尾部新生云团合并	69.0mm	37.8°N、118.2°E	16840	−74.77	和后部新生云团合并	93mm
14:30	37.8°N、117.6°E	28926	−77.57	合并加强,范围逐渐扩大		37.8°N、118.2°E	28222	−73.72	逐渐合并,范围扩大	
15:00	37.6°N、117.3°E	36032	−79.91	继续扩大南移,逐渐影响北部的商河	104.2mm	37.8°N、118.2°E	31547	−80.52	逐渐向东发展,靠近山东边界	39.0mm
15:30	37.5°N、117.3°E	46340	−84.37	继续扩大南移,逐渐影响北临的济阳		37.8°N、118.2°E	35727	−82.40	继续东扩,开始影响山东西部	
16:00	37.4°N、117.5°E	55761	−86.46	继续南移,影响市区北部	31.0mm	37.8°N、118.2°E	35879	−85.06	继续向东发展,逐渐靠近济南边界	16.0mm
16:30	37.3°N、117.4°E	68316	−86.47	继续南移,影响市区中部		37.8°N、118.2°E	55723	−86.46	继续东扩,影响市区西部	
17:00	云团合并后继续加强开始影响市区大部,云团中心位于 37.8°N、118.2°E,最低 TBB 为−88.72℃。									

分析 7 月 18 日卫星 TBB 的演变情况可以看出,14 时之前,云团 A 和云团 B 的强度较弱,范围较小,相应造成的降水不明显。14:00 以后云团 A 和云团 B 的范围逐渐扩大,强度不断加强,云顶辐射亮温(TBB)逐渐降低,云团中心沿黄河逐渐向西南方向移动,相应地 15—16 时 1 小时最大降水量达到 104.2mm。15:30—19:30,云团 A 和云团 B 合并成为云团 AB,强度继续加强,云顶辐射亮温(TBB)达到最低,在云顶辐射亮温(TBB)<－80℃的阶段,济南出现强降水,市政府自动站 1 小时最大降雨量为 84.9mm,龟山观测站 1 小时最大降雨量为 81.6mm,20:30 后云顶辐射亮温(TBB)逐渐升高,强云团缓慢南移,逐渐移出市区,对应市区的降水明显减弱。

由以上分析可知,在中尺度对流系统的发生发展阶段,云团面积(TBB>－52℃)迅速扩大,强度迅速加强,移动缓慢;而在中尺度成熟阶段,云团面积达到最大,TBB 值达到最低,移动仍然较缓慢。在整个成熟阶段,济南附近的 TBB 值一直维持在－80℃以下,说明济南附近对流非常旺盛。

5.3　TBB 变化与降水的关系

TBB 的密集预示着云团的进一步发展,稀疏时预示着降水的逐渐结束[7]。7 月 18 日 16 时济南上空 TBB 为－51℃左右,位于北部的市政府自动站在 16 时后开始出现降水,16—17 时市政府降雨量仅为 7.1mm;17 时济南上空 TBB 为－81℃左右,市政府自动站 17—18 时降雨量为 84.9mm,随着云团的逐渐南移,市区南部的龟山观测站在 17 时 20 分左右开始出现降水,17—18 时降雨量为 42.3mm;18 时济南上空 TBB 为－93℃左右,随着云团的继续南移,市政府自动站雨强有所减弱,18—19 时降雨量为 77.6mm,而龟山观测站雨量有所增大,18—19 时降雨量为 81.6mm;19 时虽然济南上空 TBB 为－87℃左右,但由于云团继续南移,市政府自动站雨势明显减弱,19—20 时降雨量仅为 0.5mm,

龟山观测站比市政府自动站位置偏南,19—20 时降雨量为 21.1mm,雨量明显比市政府自动站大;20 时以后,随着云顶亮温的逐渐升高,济南市强降水逐渐结束,到 19 日 02 时降水完全结束。由此可见,云顶亮温 TBB 的最低值中心及出现时间与暴雨中心及出现时间相当吻合,且主要的降水出现在发生发展阶段和成熟阶段。

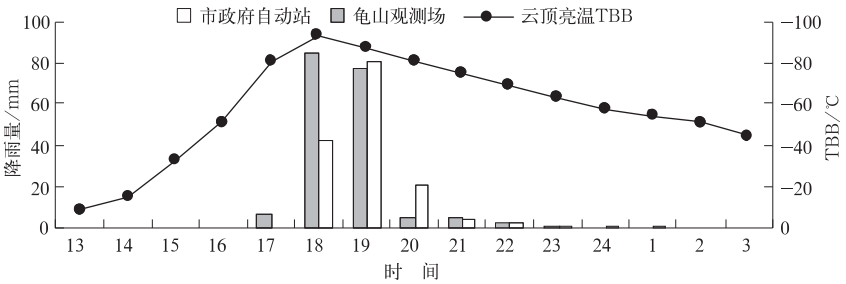

图 6　2007 年 7 月 18 日 13 时至 19 日 03 时市政府自动站、龟山观测站和济南上空 TBB 和雨量逐小时变化

市政府自动站位置 36°39′N、116°59′E 龟山气象站位置 36°36′N、117°03′E

无雨时,平均亮温逐渐升高,表明云处于

消散之中[8]；当出现降水时，平均亮温逐渐降低，表明云处于发展阶段。16时后市区北部开始出现降水，16—19时济南上空云顶平均温度由－61.77℃逐渐降低至－89.37℃，表明云处于发展阶段；20时以后，云顶平均温度逐渐升高，伴随市区强降雨逐渐结束。

6 结 论

（1）高空急流出口区右侧，低空急流出口区左侧，高能舌前部，有中尺度辐合线或辐合中心产生，容易造成强对流天气。

（2）地面存在中尺度辐合中心或辐合线生成和发展，强降水就发生在中尺度低压中心附近，随其移动而移动，最大雨量中心位于辐合中心的后方。

（3）在减弱的云团右后方不断有新的云团生成，从中γ尺度发展到中β尺度，水汽条件充足时发展成边界清晰，结构密实的中α尺度，它们是造成此次大暴雨的直接影响系统。

（4）17—20时市政府自动站降雨量167.5mm，龟山观测站145.0mm，分别占整个过程降雨量的91.7%和94.7%，这次大暴雨主要发生在云顶TBB＜－80℃的阶段。

（5）TBB资料的分析，可以追踪造成强对流天气的中尺度对流系统发生、发展和移动等演变过程，这在临近预报中有很好的指导作用。

（6）通过卫星观测到的对流系统，虽然云顶温度TBB＜－52℃的范围较大，但与强降雨区并不一定有较完全的对应关系，应结合雷达等其它资料确定强降雨落区。

参考文献

[1] 江吉喜，范梅珠. TBB图集及应用. 北京：气象出版社. 2000：16-20.

[2] 李培军，郭洪涛，黄建国，等. 利用GMS卫星资料进行强对流降水估计[J]. 解放军理工大学学报（自然科学版），2004，5(1)：88-92.

[3] 方竹军，肖稳安，汤达章. 利用红外云图资料估计降水量方法的研究[J]. 南京气象学院学报，1998，21(2)：278-284.

[4] 卢乃锰，吴蓉璋. 强对流降水云团的云涂特征分析[J]. 应用气象学报，1997，8(3)：269-275.

[5] 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. 1996，5：600-611.

[6] 朱乾根，林锦瑞，寿绍文. 天气学原理和方法（第三版）. 北京：气象出版社，2000：374-379.

[7] 陈渭民. 卫星气象学. 北京：气象出版社，2003：18.

[8] 谷晓平，王长耀，王汶. GMS红外卫星云图参数化及在降水预测中的应用. 遥感学报. 2005，4：459-467.