

肖递祥,毛家勋,李庆.“09.7”四川攀西暴雨的 MCS 特征及其成因分析[J].暴雨灾害,2010,29(1):54-58,80

“09.7”四川攀西暴雨的 MCS 特征及其成因分析

肖递祥¹,毛家勋²,李庆³

(1.四川省气象台,成都 610072;2.四川省攀枝花市气象局,攀枝花 617000;3.四川省眉山市气象局,眉山 626000)

摘要:利用 FY-2C T_{BB} 及 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料,分析 2009 年 7 月四川省攀西地区一次暴雨过程的 MCS 特征及其成因。结果表明:暴雨由一 MCS 发展增强所致,暴雨中心米易 6 h 内出现降水量超过 150 mm 的大暴雨是由一水平尺度大于 100 km 的 β 中尺度对流系统造成,该系统由其西北方 $T_{BB} < -72^\circ\text{C}$ 的 γ 中尺度对流系统发展增强而来;500 hPa 高原切变和 700 hPa 中尺度低涡是该 MCS 发生发展的主要触发系统,冷空气入侵也是促使 MCS 增强的重要因素;来自孟加拉湾的西南低空急流为暴雨期间攀西地区提供了充沛的水汽输送,大暴雨区 700 hPa 层为一强水汽辐合中心。

关键词:暴雨;MCS;高原切变;中尺度低涡

中图分类号:P458.1+21.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)01-0054-06

1 引言

暴雨是四川省的主要气象灾害之一,尤其是突发性强、持续时间短、雨强大的暴雨极易引发山洪及滑坡、泥石流等次生灾害。21 世纪以来,四川暴雨灾害频繁发生,据四川省气象台对 2001—2008 年全省暴雨天气个例的统计,四川省有 3 个暴雨频次高值区,即四川盆地内以雅安为中心的盆地西南地区、以万源为中心的盆地东北地区 and 川西高原以会理为中心的攀西(攀枝花市和凉山州)地区;上述 3 个地区暴雨年发生频次分别为 5.8、5.3、2.3 次。尽管攀西地区暴雨发生频次相对于其它两个地区较低,但由于该地区以山地为主,属地质灾害高发区^[1-2],暴雨过程更易引发当地山洪、滑坡、泥石流等次生灾害。多年来,气象工作者对四川盆地出现的灾害性暴雨天气过程典型个例分析研究较多^[3-6],但是对攀西地区的暴雨个例分析相对较少。随着气象业务现代化进程加快,自动站、加密雨量站、气象卫星、多普勒雷达资料日趋丰富,为深入细致分析攀西暴雨提供了可靠依据。

2009 年 7 月 26 日 08 时至 27 日 08 时(北京时,下同),攀西地区出现一次大到暴雨天气过程,其中所辖米易县 6 h 降水量超过 150 mm,且 6、12、24 h 降雨量均超过该县有气象记录以来极大值。这次突发性大暴雨导致山洪爆发,造成 22 人死亡、7 人失踪。为加深对此次攀西地区暴雨灾害天气过程的认识,本文利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h 间隔再分析资料、FY-2C T_{BB} 资料,对此次过程的大尺度环流背景、水汽条件、层结条

件以及中尺度特征进行分析,以期今后该地区更好地开展暴雨天气预报与服务提供有用的预报手段和方法。

2 降水实况及 MCS 特征

2009 年 7 月 26 日 08 时至 27 日 08 时,攀西地区出现一次大到暴雨天气过程(图 1a)。该地区 21 个县(市)中有 12 个县(市)出现大雨,5 个县(市)出现暴雨(以下简称“09.7”攀西暴雨),暴雨主要出现在攀枝花市北部和凉山州南部,其中攀枝花市米易县(102.1°E 、 26.9°N)出现大暴雨,24 h 降水量达 193 mm,降水主要集中在 26 日夜间,米易县 7 月 26 日 23 时至 27 日 04 时 6 个时次逐小时雨量均在 10 mm 以上,其中 4 个时次雨强在 $25\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上,短短 6 h 之内累积降水量超过 150 mm(图 1b),其 6、12、24 h 降雨量均超过该县有气象记录以来最大值。

中尺度对流系统(MCS)是暴雨的直接影响系统,引发强降水的 MCS 大多是多单体对流系统;在云区, T_{BB} (云顶黑体亮温)值越低,表明云顶高度越高,对流越旺盛。图 2 给出“09.7”攀西暴雨期间 FY-2C 逐小时 T_{BB} (分辨率 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$)演变。

从图 2 中可见,7 月 26 日午后(图 2a),暴雨中心米易西北方,即甘孜州南部和凉山州西北部一带,开始有对流云团生成并迅速发展。至 26 日 18 时(图 2b),对流云团发展为一个中 α 尺度 MCS,最大冷云中心值低于 -72°C ,MCS 形成后缓慢向东南方移动,强度进一步增大, T_{BB} 值低于 -72°C 以下的面积逐渐扩大。26

收稿日期:2009-12-18;定稿日期:2010-03-01

作者简介:肖递祥,男,1975 年生,高级工程师,主要从事天气预报业务工作。E-mail: nq408xq@tom.com

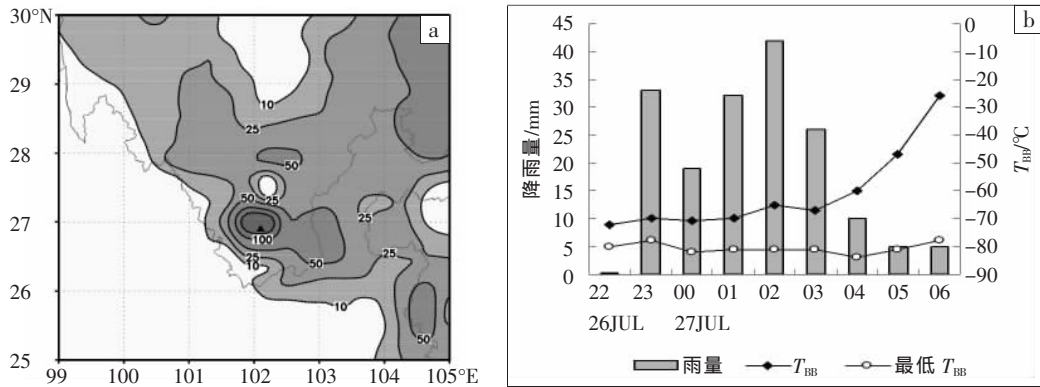


图 1 2009 年 7 月 26 日 08 时至 27 日 08 时 24 h 降水量分布图(a, ▲为暴雨中心米易, 下同)与米易逐小时雨量及 T_{BB} 演变图(b)

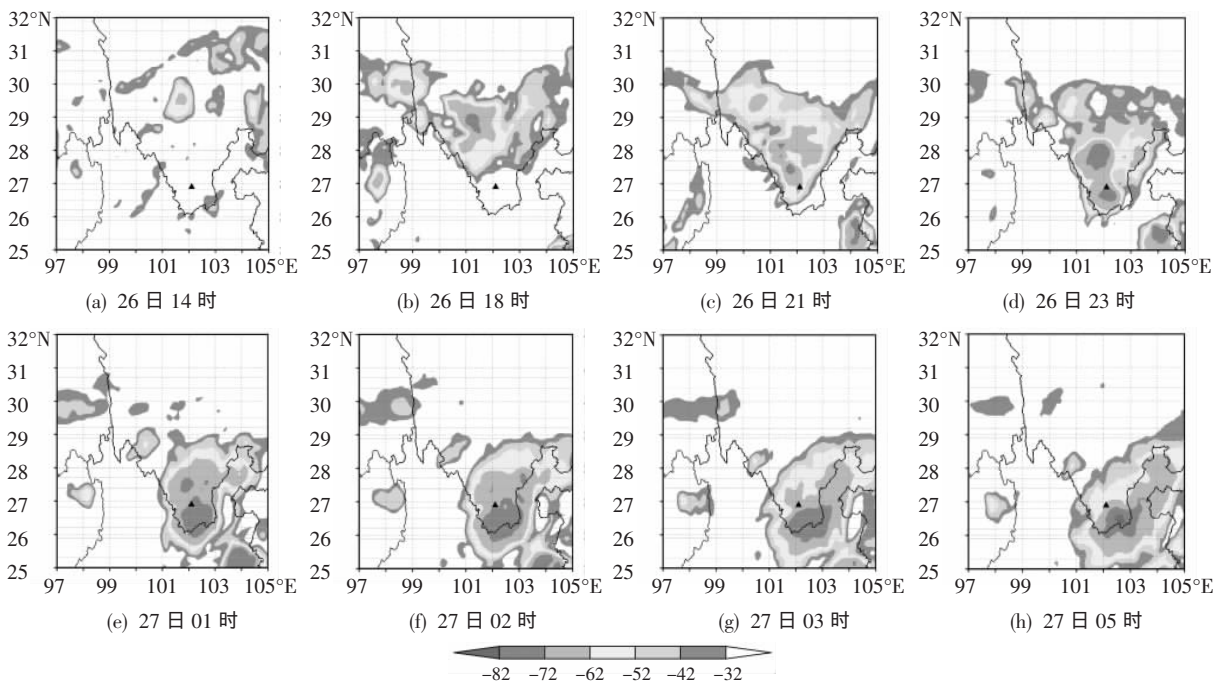


图 2 2009 年 7 月 26 日 13 时至 27 日 08 时 FY-2C 逐小时 T_{BB} 图(单位: °C)

日 21 时(图 2c), 在暴雨中心米易西北方的木里附近(101.7°E、27.5°N)和盐源附近(101.4°E、28.1°N)各出现一水平尺度 20 km 左右、T_{BB} 值小于-72 °C 的 γ 中尺度对流系统, 盐源附近的 γ 中尺度对流系统在 26 日 22—23 时(图 2d)迅速发展成水平尺度达 100 km 以上的 β 中尺度对流系统, 到 27 日 00—01 时迅速衰减(图 2e); 木里附近的 γ 中尺度对流系统从 26 日 22 时开始向东南方向发展, 与此同时, 米易出现强降水, 22—23 时 1 h 雨量达 33 mm, 27 日 01—03 时其发展最为强盛, T_{BB} 值小于-72 °C 的范围呈椭圆状, 水平尺度均维持在 100 km 以上, T_{BB} 最低值均低于-80 °C, 米易位于此云团后部(图 2f、g), 而此时段正是米易降水最强时段, 27 日 01—02 时 1 h 雨量达 42 mm, 当日 00—03 时 3 h 雨量达 100 mm。从 27 日 05 时(图 2h)开始, 位于木里附近并向东南方向发展的中尺度对流系统 T_{BB} 值小于-72 °C 的范围开始减小, 并移至米易东南

方, 米易 T_{BB} 值迅速增大, 对应米易降水明显减弱; 27 日 08 时(图略), 上述 MCS 进一步东移南压、强度迅速减弱, 攀西地区强降水结束。

上述分析结果表明, “09.7”攀西暴雨由一 MCS 发展增强所致, 暴雨中心米易在短时间内出现的强降水是由位于其西北方向的木里附近的一 T_{BB} 值小于-72 °C 的 γ 中尺度对流系统发展, 并增强为一水平尺度大于 100 km 的 β 中尺度对流系统造成, 强降水出现在对流系统开始发展及对流发展旺盛阶段, 大暴雨出现时米易位于此 β 中尺度云团后部。从米易逐小时降水量与对应的 T_{BB} 值演变可知(图 1b), 此时段该中尺度对流系统的 T_{BB} 最低值均在-80 °C 以下, 米易强降水时段内其 T_{BB} 值均维持在-70 °C 左右, 但 T_{BB} 低值中心与最大降水中心并不完全对应。这与石定朴等^[7]在分析中尺度对流系统红外云图云顶黑体温度时得到的结论一致。

3 MCS 发生发展的环境条件分析

3.1 大尺度环流背景

2009 年 7 月 26 日 08 时(图 3a),500 hPa 图上,亚洲高纬地区为两槽一脊形势,贝加尔湖西侧至蒙古国西部有一冷槽,青藏高原东部有一切变,并伴有-2~-6 °C 的 24 h 变温;西太平洋副热带高压偏弱,588 dagpm 脊线位于 20°N 左右,其脊点位于 125°E 附近,孟加拉湾有一强度为 584 dagpm 的季风低压;对流层低层,700 hPa 自孟加拉湾到我国西南地区有一支 10~16 m·s⁻¹ 较强西南气流,为“09.7”攀西暴雨过程建立

起水汽输送通道;对流层高层,我国西南地区受南亚高压控制,100 hPa 南亚高压脊线位于 30°N 附近,攀西地区位于南亚高压右侧偏东北气流控制的高层辐散区内。地面图上(图 3c),西藏东北部至青海地区为一带状高压,高压中心值 1 020 hPa,并伴有 2~6 hPa 正变压,攀西地区为一低压控制,并伴有-2 hPa 负变压。到 27 日 08 时(图 3b),500 hPa 高原切变东移南压,孟加拉湾季风低压北抬后减弱,700 hPa 攀西地区由偏南气流转为偏北气流控制。地面图上(图 3d),青藏高原东部地区的带状高压东移南压,在攀西地区为 2 hPa 以上正变压区,表明有冷空气进入该地区。

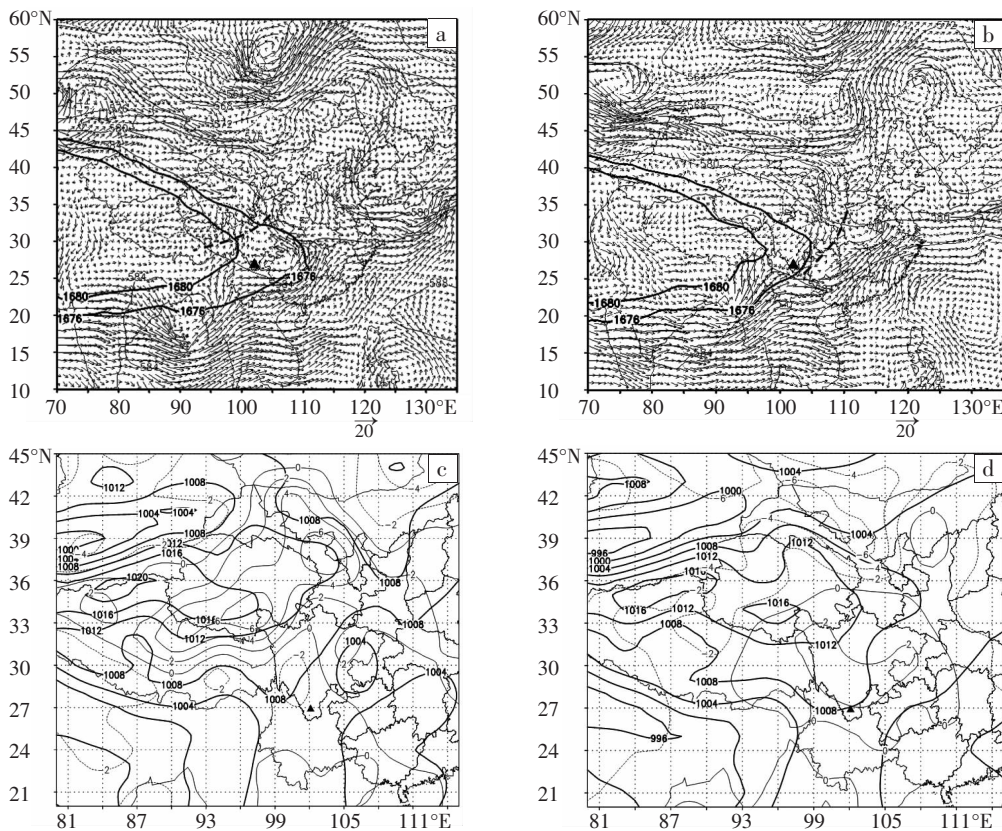


图 3 2009 年 7 月 26—27 日不同时刻大尺度环流形势场

(a) 26 日 08 时、(b) 27 日 08 时高低层环流形势配置图(单位: dagpm)

—— 500 hPa 高度场;--- 500 hPa 变温;- - - 500 hPa 高原切变;

—— 100 hPa 高度场;→ 700 hPa 风矢量;▲ 米易暴雨中心

(c) 26 日 08 时、(d) 27 日 08 时海平面气压(实线)及 24 h 变压(虚线)分布图(单位: hPa)

3.2 中尺度触发系统

分析“09.7”攀西暴雨过程 700 hPa 实况图可知,从 26 日 08 时至 27 日 08 时,川西高原南部至四川盆地、贵州一带为一低压带区,西昌伴有-3 dagpm 的 24 h 变高,表明川西高原南部有低值系统发展,由于探空站点稀疏,每天仅有 08 时和 20 时的观测资料,在常规天气图上无法反映中小尺度低值系统;而川西高原南部山地地形复杂,近地面风速受地形影响很大,难以反映低值系统生消演变。Barnes 带通滤波是用于中

尺度分析的一种常见方法^[8,10],其分析思路是对每个原始网格点 $F_0(i, j)$ 过滤原始资料,即

$$F_0(i, j) = \sum_{n=1}^N W_n F_n(i, j) \left[\sum_{n=1}^N W_n \right]^{-1} \quad (1)$$

然后,使用式(2)对其进行订正

$$F_1(i, j) = F_0(i, j) + \sum_{n=1}^N W_n D_n(i, j) \left[\sum_{n=1}^N W_n \right]^{-1} \quad (2)$$

式(1)、(2)中, $W_n(i, j) = \exp(-r_n^2/4c)$ 为距离权重系数; $F_n(i, j)$ 为 $F_0(i, j)$ 周围的原始格点值; N 为 $F_0(i, j)$ 处滤

波的格点数,本文取 8 个格点; $D_n(i,j)=F_n(i,j)-F_0(i,j)$ 为余差; $W_n(i,j)=\exp(-r_n^2/4Gc)$ 为修正的距离权重系数。取滤波常数 $c=150\ 000$, $G=0.3$, $\lambda=800\text{ km}$, $R=0.10$, 可使低通滤波器在 800 km 波长附近的响应函数值很小^[10]。最后,得到中尺度带通滤波场

$$B(i,j)=F_n(i,j)-F_0(i,j) \quad (3)$$

顾清源等^[5]、张秀年等^[9]利用 Barnes 带通滤波方法分别对四川盆地西南低涡暴雨天气和低纬高原地区冷锋型切变暴雨过程进行中尺度分析,结果显示该方法对中尺度暴雨具有较好的中尺度带通响应。为深入分析“09.7”攀西暴雨期间 700 hPa 中尺度系统活动,本文利用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h 间隔再分析资料,采用 Barnes 带通滤波方法进行尺度分离。

经 Barnes 带通滤波发现,7 月 26 日夜间,从 700 hPa 图上可见一中尺度低涡活动,暴雨区位于低涡东南

侧,并有明显的正涡度辐合(图 4)。26 日 20 时(图 4a),攀西地区为一气旋性辐合区,并伴有 $(10\sim 20) \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 正涡度和 $(-10\sim -20) \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 负散度,正涡度和负散度中心位于暴雨中心米易的西北方,即图 2c 中开始出现 T_{BB} 值 $< 72^\circ\text{C}$ 的区域;27 日 02 时(图 4b),上述气旋性辐合区向东南方向发展,在云南丽江附近(100.7°E , 27.3°N)形成一完整的中尺度低涡,此时攀西地区出现的暴雨位于其东南方,暴雨中心米易(102.1°E , 26.9°N)距低涡中心 120 km 左右,并为涡度值大于 $20 \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 和散度值小于 $-20 \times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 的正涡度辐合区,正是随此低涡的生成和发展,攀西地区 MCS 发展增强,米易出现强降水;27 日 08 时(图 4c),上述中尺度低涡南压至云南永仁(101.7°E , 26.0°N)附近, MCS 随之东移南压,攀西地区处于低涡北部,强降水结束。综上可知,700 hPa 中尺度低涡是促使 MCS 发展的重要动力因素。

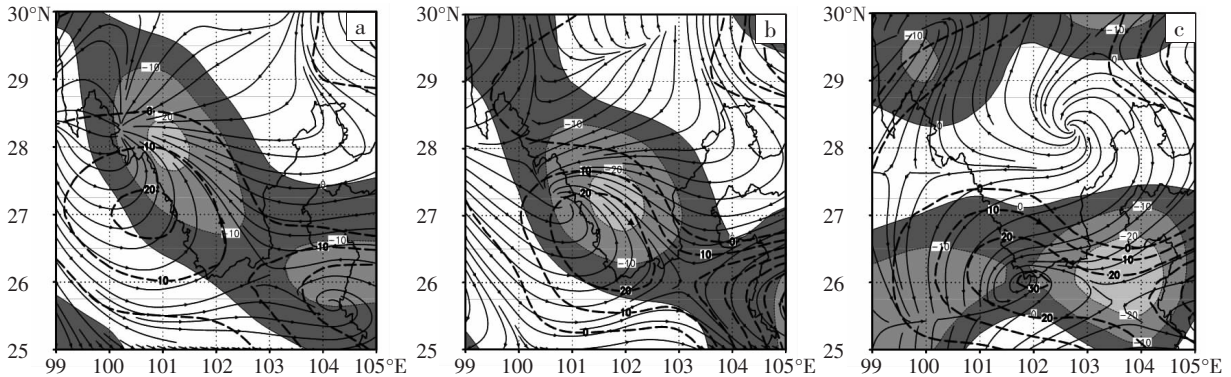


图 4 Barnes 带通滤波后的 700 hPa 流场、涡度(虚线)与散度(阴影)分布图

(a) 2009 年 7 月 26 日 20 时;(b) 27 日 02 时;(c) 27 日 08 时;单位: 10^{-6} s^{-1}

3.3 水汽输送条件

由于孟加拉湾季风低压的存在,使得“09.7”攀西暴雨期间对流层中低层自孟加拉湾至我国西南地区存在一支较强水汽输送带,并在川西高原南部存在明显水汽辐合。图 5a 是“09.7”攀西暴雨过程前(26 日 08

时)700 hPa 风矢量和水汽通量图。从中可见,700 hPa 自孟加拉湾经中南半岛到云南有一支较强的西南偏西气流,将孟加拉湾的水汽输送至暴雨区,水汽输送上游方向的水汽通量最大值达 $16\text{ g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 以上;26 日 20 时(图略),随孟加拉湾季风低压北抬,中南

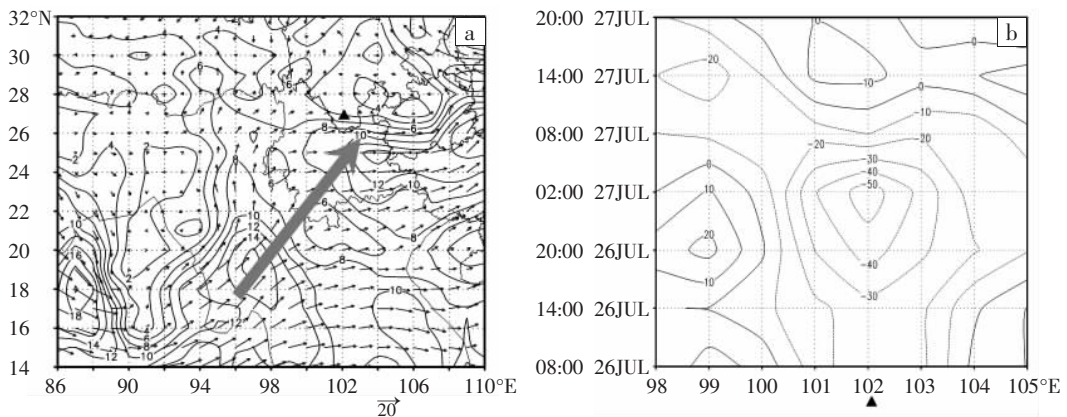


图 5 2009 年 7 月 26 日 08 时 700 hPa 风矢量及水汽通量分布图(a, 单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)与水汽通量散度(b, 单位: $10^{-6}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)沿暴雨中心米易(27°N)的时间-经度剖面图

▲为暴雨中心米易;箭头所示为水汽输送方向

半岛至我国云南的西南气流风速增大,水汽输送条件更为有利;同时在川西高原南部也存在明显水汽辐合。从 26 日 08 时至 27 日 08 时的水汽通量散度时间-经向剖面图上可知(图 5b),暴雨中心米易及其南北 1 个经纬度范围内,700 hPa 水汽通量散度值达 $-20 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,在 27 日 02 时前后(即米易降水最强时刻),700 hPa 层其附近水汽通量散度值达 $-50 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,水汽条件相当充足。以上

结果显示来自于孟加拉湾的较强水汽输送使此次过程始终存在十分有利的水汽条件,而攀西地区较强的水汽辐合是造成暴雨的重要原因。

3.4 热力层结条件

假相当位温(θ_{se})是综合反应大气温度和水汽的物理量,当 θ_{se} 随高度增加时大气为对流稳定,随高度减小时大气为对流不稳定。图 6 给出从不同时刻沿 102°E 经米易暴雨中心的 θ_{se} 经向剖面图。

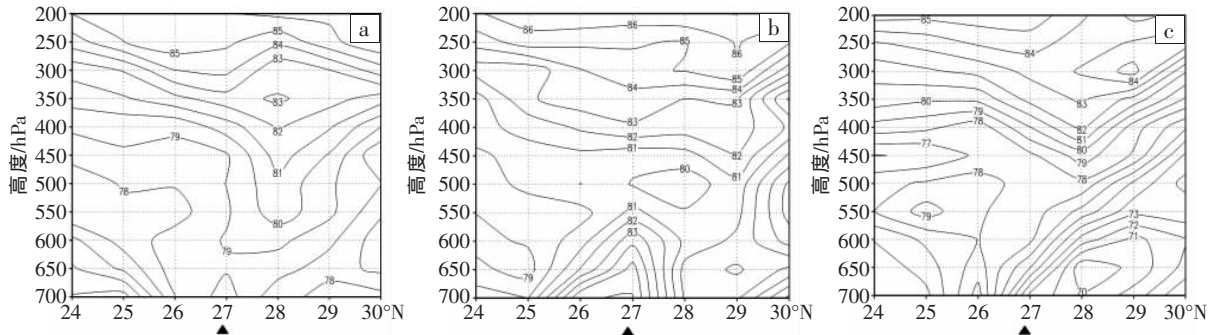


图 6 2009 年 7 月 26 日 08 时(a)、20 时(b)及 27 日 08 时(c)沿暴雨中心米易(102°E)的假相当位温(单位: °C)纬度-高度剖面图

26 日 08 时(图 6a),在 700 hPa 至 200 hPa 之间, θ_{se} 随高度上升,表明此时大气为对流稳定;但此时 700 hPa 假相当位温水平分布图上(图略),孟加拉湾经中南半岛至我国云南为一支较强暖湿气流,云南到川西高原南部为一高能舌,由于有暖平流持续输送,26 日 20 时(图 6b),700—500 hPa 假相当位温随高度递减,表明对流不稳定开始出现;到 27 日 08 时(图 6c),有一条随高度向北倾斜的能量锋压过暴雨区,低层暴雨区附近 θ_{se} 较 26 日 08 时下降 8~10 °C,表明“09.7”攀西暴雨期间有明显冷空气入侵,冷空气入侵使得冷暖气流交汇,使垂直对流运动增强。可见,26 日夜间冷暖空气在攀西地区的交汇是促使对流强烈发展的重要原因。

水汽和能量输送通道,暴雨期间攀西地区存在充沛水汽输送和水汽辐合,大暴雨区 700 hPa 层为明显的水汽辐合中心,强降水发生前,低层暖平流输送使攀西地区大气层结由稳定转为不稳定,在大气层结处于对流不稳定的背景下,冷空气入侵又触发并加剧对流运动发展,促使不稳定能量释放。

4 结论

(1)“09.7”攀西暴雨由一 MCS 发展增强所致,暴雨中心米易短时间内出现的大暴雨由位于其西北方的木里附近的一 $T_{BB} < -72 \text{ °C}$ 的 γ 中尺度对流系统发展增强为一水平尺度大于 100 km 的 β 中尺度对流系统造成;强降水出现在对流系统开始发展及对流发展旺盛阶段,米易强降水时段其 T_{BB} 均维持在 -70 °C 左右,但最大降水并未出现在 MCS 的 T_{BB} 最低中心。

参考文献:

- [1] 谭万沛,韩庆玉.四川省泥石流预报的区域临界雨量指标研究[J].灾害学,1992,7(2):37-42.
- [2] 苏鹏程,刘希林,郭洁.四川泥石流灾害与降雨关系的初步探讨[J].自然灾害学报,2006,15(4):19-24.
- [3] 陈静,李川,谢贵珣.低空急流在四川“9118”大暴雨中的触发作用[J].气象,2002,28(8):24-29.
- [4] 宗志平,张小玲.2004 年 9 月 2—6 日川渝持续性暴雨过程初步分析[J].气象,2006,31(5):37-41.
- [5] 肖递祥,顾清源,祁生秀,等.2007 年 7 月川东北连续 3 场大暴雨过程的诊断分析[J].暴雨灾害,2008,27(3):231-236.
- [6] 肖递祥,顾清源,祁生秀.2008 年 7 月 14—15 日川西暴雨过程的温度层结变化分析[J].暴雨灾害,2009,28(1):8-13.
- [7] 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):600-611.
- [8] 陈志明.大气内部非平衡激发暴雨天气的动力诊断[J].科学通报,1992,37:1432-1433.
- [9] 张秀年,段旭.云南冷锋切变型暴雨的中尺度特征分析[J].南京气象学院学报,2006,29(1):114-121.
- [10] 丁一汇.现代天气学中的诊断分析方法[M].北京:中国科学院大气物理研究所,1984:189-203.

(2)“09.7”攀西暴雨过程发生在低层辐合、高层辐散的有利形势背景下,500 hPa 高原切变、700 hPa 中尺度低涡是 MCS 生成发展的主要触发系统,MCS 生成于 700 hPa 中尺度低涡东南方的正涡度辐合区,其强度和位置变化与此中尺度低涡的强度和移动路径一致。

(3)孟加拉湾季风低压的存在为此次过程提供了

(下转第 80 页)

- 1995, 34(11): 2513–2532.
- [9] 沈树勤,于波.华东热带气旋暴雨落区的统计释用预报[C]//中国气象局上海台风研究所.全国热带气旋科学讨论会论文集.2001:224–232.
- [10] 侯淑梅,孙忠欣.9907号暴雨过程分析[C]//中国气象局上海台风研究所.第十二届全国热带气旋科学讨论会论文摘要文集.2002:333–335.
- [11] 周曾奎,魏建苏,赵永玲.0012号台风引发“8.30”特大暴雨过程的分析[C]//中国气象局上海台风研究所.第十二届全国热带气旋科学讨论会论文摘要文集.2002:261–264.
- [12] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:440–475.
- [13] 解以扬,徐祥德.登陆台风暴雨地形增幅的数值试验[J].南京气象学院学报,1993,16(4):451–456.
- [14] 段丽,陈联寿.热带风暴“菲特”(0114)特大暴雨的诊断研究[J].大气科学,2005,29(3):343–353.
- [15] 钮学新,董加斌,杜惠良.华东地区台风降水及影响降水因素的气候分析[J].应用气象学报,2005,16(3):402–407.

Main Factors Affecting the Rainfall Caused by Landing Typhoons

NIU Xue-xin¹, DU Hui-liang², TENG Dai-gao³, LIU Jian-yong³

(1. Zhejiang Research Institute of Meteorology, Hangzhou 310017;
2. Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310017;
3. Ningbo Meteorological Observatory, Ningbo 315012)

Abstract: Both statistic analysis and numerical simulations are performed to investigate the main influencing factors of the landing typhoon precipitation by using meteorological data from 1952 to 2000. The results show that the typhoon intensity is one of the main factors affecting the Rainfall. The topography is one factor too. Owing to the topography, the rainfall on windward slope and in the precipitation center increases, and the rainfall on leeward slope decreases, so that the rainfall distribution appears in a more asymmetrical and inhomogeneous form. Cold air invading the periphery of the tropical cyclone (TC) can increase the rainfall amount in the areas of the TC periphery and inverse trough. However, when it intruded into the vicinity of the tropical cyclone center the cold air can weaken the TC intensity dramatically and result in remarkable decrease of rainfall near TC center. The humidity field in the effected area and moisture input is one of influenced precipitation factors. The period of typhoon and its inverted trough affect the total precipitation. These results provide more reference to predict tropical cyclone precipitation.

Key words: Typhoon rainfall; Affect factors; Topography; Cold air; Humidity field

(上接第 58 页)

Analysis on MCS Characteristics and Its Causes of Rainstorm in the Panxi Region of Sichuan Province in July 2009

XIAO Di-xiang¹, MAO Jia-xun², LI Qing³

(1. Sichuan Provincial Meteorological Office, Chengdu 610072;
2. Panzhihua Meteorological Office of Sichuan Province, Panzhihua 617000;
3. Meishan Meteorological Office of Sichuan Province, Meishan 626000)

Abstract: Using the Black-Body Temperature (T_{bb}) data from FY-2C Stationary Meteorological Satellite and NCEP global $1^\circ \times 1^\circ$ reanalysis data, the MCS characteristics and its causes of the Rainstorm in the Panxi region of Sichuan province in July 2009 are analyzed in detail. The results show that the rainstorm happens due to the developing and strengthening of a mesoscale convective system (MCS). A β -mesoscale convective system with over 100 kilometers horizontal scale caused by a developing and strengthening γ -mesoscale convective system with T_{bb} less than -72°C from the northwest results in amount of precipitation exceeding 150 mm within six hours in rainstorm center in Miyi. The main trigger systems making MCS develop and strengthen are the Plateau shear line in 500 hPa and the mesoscale vortex in 700 hPa. In addition, the cold air intrusion is an important factor in strengthening of MCS. The southwest low-level jet from the Bay of Bengal provides the enough water vapor to Panxi region, and the heavy rainstorm area is located in the water vapor convergence center in 700 hPa.

Key words: Storm rainfall; MCS; Plateau shear line; Mesoscale vortex