

钮学新,杜惠良,滕代高,等.影响登陆台风降水量的主要因素分析[J].暴雨灾害,2010,29(1):76-80

影响登陆台风降水量的主要因素分析

钮学新¹,杜惠良²,滕代高²,刘建勇³

(1.浙江省气象科学研究所,杭州 310017;2.浙江省气象台,杭州 310017;3.宁波市气象台,宁波 315012)

摘要:利用 1952—2000 年气象资料,采用气候统计分析与数值模拟相结合的方法,研究影响热带气旋降水的因素。分析结果表明:热带气旋强度是影响台风降水中心强度的主要因素之一;地形作用使迎风坡及降水中心雨量增加,背风坡雨量减少,从而使降水分布更不对称、更不均匀;冷空气入侵热带气旋外围可大幅度增加热带气旋外围及倒槽的降水量,但入侵到热带气旋中心附近的冷空气使热带气旋强度减弱,造成中心附近降水明显减少;大陆及其近海湿度场对热带气旋降水起到较大影响作用;台风及其倒槽影响时间长短直接影响总降水量。

关键词:台风;降水强度;地形作用;冷空气;湿度场

中图分类号:P458.1+21.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)01-0076-05

1 引言

登陆台风对国民经济和人民生命财产安全造成的影响和灾害主要由大风、暴雨与风暴潮引起,台风暴雨可衍生出洪涝、泥石流、山体滑坡等地质灾害。因此,深入开展台风降水研究并提高其预报水平,对预防和减轻台风灾害具有重要现实意义。目前,相对于台风路径预报研究,台风降水强度预报技术研究明显滞后,远不能满足灾害性天气业务预报的需要。20 世纪 90 年代后,国内外气象工作者相继开展了一些有意义的相关研究,并取得不少研究成果。如有学者采用数值模式对台风降水进行数值模拟试验^[1-7],模拟台风降水及地形等对降水的作用。Rodgers E B 等^[8]对台风降水的研究表明,SST、水汽条件和垂直风切变等影响台风强度,也因此影响台风降水量。还有一些学者使用天气学诊断和统计方法分析研究台风降水^[9-11]。由于受资料、计算条件等原因所限,上述成果或多或少存在局限性。本文采用天气气候分析和数值模拟相结合的方法,研究影响登陆台风降水的主要因素,旨在提供一些对台风降水预报有指导意义的依据。本研究所用资料来源于中国气象局台风年鉴资料、历史天气图、浙江省气象台台风降水观测资料;数值模拟采用 NCEP 再分析资料。资料年限为 1952—2000 年。

2 台风强度对台风降水的影响

一般认为,热带气旋强度会影响降水强度,但由于影响热带气旋雨量的因素较多且很复杂,热带气旋强度影响其雨量强度至今没有一个明确说法。

采用中国气象局台风年鉴资料,统计 1952—2000 年登陆长江口到珠江口的台风和热带风暴影响下沿海与近海地区的最大降水中心雨量,其结果见表 1。

表 1 1952—2000 年登陆长江口到珠江口的两类不同强度热带气旋造成的最大雨量

登陆前 12 h 强度	个数	最大降水中心雨量/mm		
		平均值	极大值	极小值
台风	106	378.8	891.0	112.0
热带风暴	53	272.2	587.0	25.0

统计结果表明,106 个登陆前 12 h 或登陆台湾时近中心最大风速 $>32.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的台风造成的最大降水中心雨量平均为 378.8 mm;最大的为登陆香港的 6001 号台风,造成广东 891 mm 的降水,最小的为登陆福建省漳浦的 8015 号台风,造成 112 mm 降水。53 个登陆前 12 h 或登陆台湾时近中心最大风速 $<32.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的热带风暴造成的最大降水中心雨量平均值为 272.2 mm,为前者的 71%,两者相差 106.6 mm;最大的为 1958 年登陆福建惠安的 20 号热带风暴,引起的降水量达 587 mm,最小的为登陆浙江温岭的 7410 号热带风暴,引起的降水量为 25 mm。台风登陆前 12 h 或登陆台湾时已经或开始影响大陆,这就表明,台风强度是影响台风雨量强度的主要因素之一。

用 MM5v3.5 模式以 0216 号台风为样本进行数值模拟^[7]。数值模拟时将台风中心最大风速分别增加或减少 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (中心气压减少或增加 11 hPa),其他环境场不变,模拟得到的降水量与控制试验相比,最大降水中心雨量分别增加或减少一成,但其他地方降水变化不大。

收稿日期:2009-11-28;定稿日期:2010-02-26

作者简介:钮学新,男,1943 年生,正研级高工,主要从事天气动力学研究与预报。E-Mail: xxniu827@163.com

以上结果表明,台风强度是影响台风最大降水中心雨量的主要因素之一。

3 地形对台风降水的影响

东南沿海地区多丘陵,山区地形对台风降水有很大的影响。迎风地形的强迫抬升和强迫辐合可使台风降水明显增加,而背风区一般比沿海平原地区明显偏少。其次,特殊地形与台风环流相互作用,能够使减弱的台风残余低压环流重新得到发展,造成暴雨甚至特大暴雨。7503 号台风残余低压深入内陆后“复活”,并由多种因素造成河南特大暴雨(总雨量 1 631 mm)即是一例^[12]。另外,地形与台风环流相互作用激发出多个中小尺度涡旋系统,引起台风降水明显增加^[13-14]。统计比较 1956—1980 年间闽中到浙南登陆的 51 个台风过程雨量(1980 年后缺少水文站雨量资料),地处山区的最大过程雨量中心值(水文站记录)是浙江东南沿海受台风影响的气象站过程雨量平均值的 2 倍左右,最大的近 3 倍,最小的约 1.5 倍;是沿海平原地区气象站最大过程雨量平均值的 1.5 倍左右,最大达 2 倍。例如 6007、6214、9417 号台风给浙江括苍山、四明山区迎风侧谷口附近带来 600 mm 以上的降水,比其东侧的沿海平原多 1~2 倍。又如 0216 号台风降水中心雨量 413 mm,位于迎风坡谷口,是其东侧沿海平原地区 4 气象站雨量平均值(196.5 mm)的 2.1 倍,是四站中雨量最大气象站(瑞安站,222 mm)的 1.86 倍。江西东部等背风地区的气象站雨量与东部沿海平原地区的气

象站雨量比较,背风地区气象站雨量一般不到东部沿海地区气象站雨量的 1/2。这除了台风登陆后强度减弱外,背风坡地形作用是主要影响因素。但也有极少数台风的雨量分布并非如此,例如 8012 台风登陆后在闽浙西部和江西东部停滞、折向北移,造成江西降水量和闽北浙南沿海地区的过程雨量大致相等;6704 台风登陆闽北后在闽西北迅速消亡,在浙闽沿海地区的过程雨量不足 50 mm,属于一个“干台风”,而江西和闽西南局部地区的过程雨量反而在 50 mm 以上、雨量中心值近 100 mm,造成这一现象的原因可能是地形与台风环流相互作用激发出多个中小尺度涡旋系统的缘故。

采用 MM5v3.5 模式,以 0505 号台风为样本进行地形敏感性试验。模拟时段选取台风越过台湾岛至浙江省东南地区发生强降水期间,即 2005 年 7 月 18 日 00 时至 21 日 00 时,共积分 72 h,有地形试验指控制试验(不修改地形参数),无地形试验为敏感性试验,去掉浙江东南部雁荡山一带地形的影响。数值模拟结果见图 1。从中可见,无地形时降水中心强度(图 1c)较有实际地形的降水强度(图 1b)小 1/3 以上,同时前者的强降水区范围与实况相比(图 1a)也明显减小。以 0216 号台风为样本^[7],东南沿海地区地形对台风降水影响的数值模拟结果表明:迎风地形可以增加热带气旋降水中心附近的降水量,增量达到 1/3 左右;但背风地形的雨量要减少 1/3 或以上;因此地形使雨量分布不均匀。这些模拟结果验证了天气气候统计分析结果。

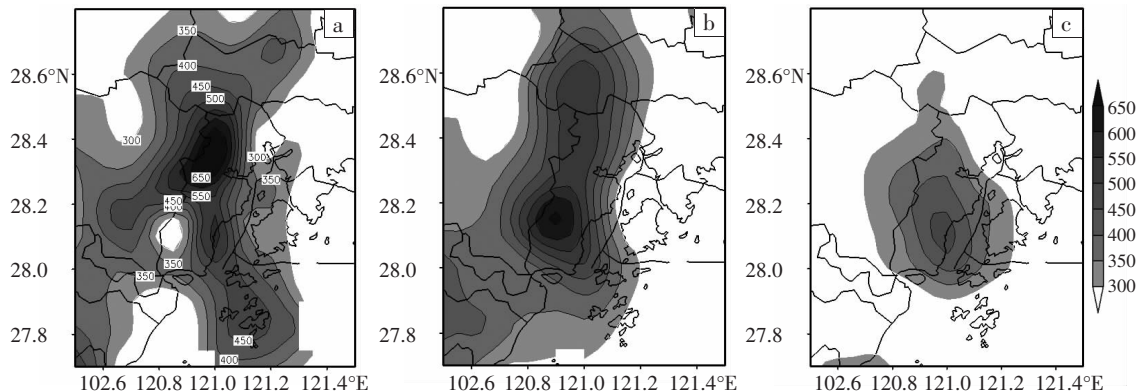


图 1 2005 年 7 月 18 日 00 时至 21 日 00 时台风“海棠”暴雨过程地形敏感性试验(单位: mm)

(a) 实况降水; (b) 模拟降水(有地形); (c) 无地形试验降水

以上分析结果表明,地形是影响台风雨量强度及分布的主要因素之一。

4 冷空气对台风降水的作用

冷空气侵入台风环流或倒槽可增加台风降水。适量冷空气侵入台风倒槽和外围,可加剧动力和热力不稳定,使冷空气影响到的附近地区降水量明显增加。

这是造成台风降水异常的重要机制。如 9907 号台风残余低压与弱冷空气结合造成山东大范围暴雨到大暴雨,山东诸城雨量达 714.9 mm^[10];又如 2000 年 14 号台风在浙江中北部沿海慢行后转向东北,冷空气侵入其外围,造成浙北东部地区出现暴雨到大暴雨,余姚市夏家岭(水文站)降雨 742 mm,创 1949 年以来浙江近海北上转向台风降水之最。7503 号台风残余低压

深入内陆造成河南特大暴雨也有冷空气的作用。值得引起注意的是,24 h 降温大于 5 °C 的较强冷空气入侵台风中心将破坏台风的结构,造成台风强度减弱,因此不能起到增强台风中心附近降水的作用,而对台风倒槽降水仍可起到很大增幅作用^[1]。

华南登陆的台风一般不会给浙江带来强降水,其降水大多在 50 mm 以下。但冷空气侵入到华南登陆的台风倒槽或台风低压经闽北到浙江一带再入海或受强台风倒槽影响,浙江地区会出现暴雨到大暴雨。其中,强台风倒槽影响下只有浙南会出现暴雨到大暴雨;而冷空气侵入到华南登陆的台风倒槽或外围可引起浙江全省范围内的暴雨到特大暴雨。表 2 给出 1956—2000 年厦门到珠江口登陆台风在浙江造成的强降水(过程雨量)情况。

表 2 1956—2000 年厦门到珠江口登陆台风引起浙江不同强度降水出现次数

台风登陆地段	登陆次数	降水量/mm	降水机制		
			冷空气侵入	台风低压经闽北到浙江一带再入海	强台风倒槽
厦门到汕头	15 次	50~100	1	0	4
		100~200	2	0	2
		≥200	0	1	1
		≥50	3	1	7
汕头到珠江口附近 (113°E)	57 次	50~100	1	0	7
		100~200	2	1	2
		≥200	4	1	4
		≥50	7	2	13

注:降水机制 为冷空气侵入台风倒槽, 为台风低压经闽北到浙江一带再入海, 为强台风倒槽。

从表 2 中可见,在 1956—2000 年登陆华南的台风引起浙江 50 mm 以上降水个例中,约有 1/3 是冷空气侵入台风倒槽或减弱后的低压引起的,其中 8 次为 100 mm 以上降水,4 次降水中心值超过 200 mm。

冷空气对热带气旋降水影响的数值模拟表明^[7]:弱冷空气影响热带气旋北侧及外围后,其北侧强降水中心区域内雨量变化不大,北侧外围雨量绝大部分地区有增加,过程雨量增加近一倍左右或以上;强冷空气影响热带气旋中心附近及其北侧环流后,由于破坏热带气旋中心结构,减弱热带气旋中心强度,从而使热带气旋中心附近雨量减少 1/2 左右,但北侧外围雨量增加,过程雨量最大增幅约 3 倍或以上。这一结果与天气气候实际情况基本一致。由此可见,冷空气入侵是影响台风雨量强度的主要因素之一。

5 湿度场对台风降水的影响

大陆若长期处于干旱状态,水汽太少会影响台风雨量。特别是某一区域盛夏长期干旱、空气中水汽很

少,受台风影响时,降水会明显减少,甚至出现沿海气象台站业务人员俗称的“干台风”。在实际预报服务工作中,曾遇到大陆久旱期热带气旋的降水量比正常情况下降水量偏少的个例。统计结果表明,1952—2000 年浙江省出梅之后半月内无热带气旋影响华东大片地区共有 31 年,此后第一个登陆华东地区的台风或热带风暴引起的华东地区最大降水中心雨量平均值为 218.6 mm,是其他登陆华东地区的台风和热带风暴引起最大降水中心平均值(330.7 mm)的 66.1%(表 3)。如梅汛期后的伏旱期间登陆浙江省温岭的 7410 号台风仅引起 25 mm 的最大降水,为罕见的干台风;又如 1987 年 7 月 27 日登陆浙江温州,而后北上穿过浙江中部、江苏中部再入海的 8707 号台风,造成降水超过 100 mm 的测站只有温州、台州、宁波三地区的沿海站,其中仅温州(232 mm)和大陈两站降水超过 200 mm。而与其路径大致类似的 6126 号台风,路径两侧有大片 100 mm 以上降水区,宁波大部与台州部分地区雨量在 300 mm 以上(雨量中心值达 491 mm),杭州附近天目山也出现 573 mm 的雨量中心;6214 和 6513 号台风造成 120°E 以东大片地区出现 300 mm 以上降水,最大雨量中心值分别为 634 mm 和 832 mm;6615 号台风引起大片 200 mm 以上降水,宁波南部雨量中心值达 539 mm。而 8707 号台风引起的雨量中心值和大暴雨落区均不及这些台风的 1/2。大旱之年的 1967 年 7 月 12 日登陆福建连江的 6704 号台风引起的降水只有一站超过 100 mm(136 mm),3 站超过 50 mm,其路径两侧、闽中北和浙江全省降水量均在 50 mm 以下,为少有的干台风。此外登陆闽浙的 6708、6714、6721 号台风引起的最大降水中心值均在 200 mm 以下,超过 100 mm 的站很少,均为干台风。

表 3 1953—2000 年登陆华东地区的热带气旋引起的最大降水中心雨量

热带气旋	个数	最大降水中心雨量/mm	
		平均值	极大值
久旱后首个登陆	31	218.6	625.0
其他登陆	88	330.7	875.0

湿度场对台风降水作用的数值模拟结果表明^[7],由于大陆及东海水汽大量减少,使热带气旋登陆之后强度减弱加快,造成大部分地区的降水量明显减少约 1/5~1/3。这一结果与实际情况较吻合。

热带气旋登陆前后海上水汽来源影响其减弱速度和降水量。热带气旋登陆后若海上水汽输送不能维持,则其减弱消亡快,造成降水也少。若其登陆前后海上水汽来源充足,则减弱速度慢,造成降水强。如 2006 年第 4 号强热带风暴“碧利斯”在福建霞浦登陆,先后

穿过福建、江西、湖南、广西等省(区),造成南方地区严重暴雨洪涝灾害,福建沿海、广东东部降水 200 mm 以上,粤闽交界处及湖南南部降水在 300 mm 以上。“碧利斯”登陆前主要的水汽来源有二:一是来自南海和孟加拉湾;二是来自菲律宾以东西太平洋。浙江中部地区成为水汽汇(图 2a,登陆前 5 h)。登陆后来自孟加拉湾和南海的大量湿热水汽与台风环流汇合(图 2b,

登陆后 24 h),对台风环流进行水汽和热量的补给,不但使持续降水获得“原料”,且补充了潜热能量。西南气流中夹带着大量中小尺度的热带对流云团也补充到了台风环流中,使得低压环流从外界获得大量热量、水汽和动力的补充,对低压环流的维持及大范围强降水起到很大的作用。以上结果表明,湿度场与水汽供应也是影响台风雨量强度的主要因素之一。

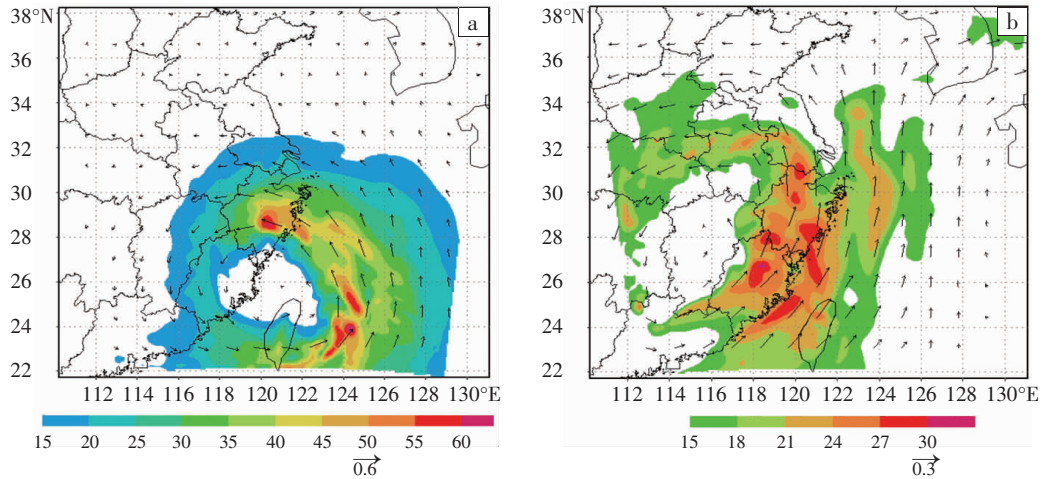


图 2 强热带风暴“碧利斯”登陆前后 700 hPa 水汽通量及风矢量图
(a) 2006 年 7 月 14 日 08 时;(b) 7 月 15 日 13 时。阴影区水汽通量 $\geq 15 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

6 台风影响时间长短对降水量的影响

台风缓慢北上或少动,使台风及其倒槽对这些地区影响时间长,可使雨量增加 50%到 1 倍^[12]。如 6007 号台风在我国东部地区北上,台风及其倒槽在浙江、江苏停留时间达 3~4 d,造成浙江(庄屋 868 mm)、江苏(潮桥 945 mm)的台风降水创历史记录;再如 7503 号台风残余低压深入内陆造成河南特大暴雨(总雨量 1 631 mm),可能也与台风影响时间长这一因素有关。

7 结论

影响热带气旋降水量的因素较多且复杂,特别大的台风降水往往由多个因素造成。通过统计分析和数值模拟,得到如下几点结论。

- (1)台风强度是影响台风降水中心强度的主要因素之一。
- (2)地形作用可加大迎风坡的降水,使降水中心强度明显增强;同时使背风坡降水减少,从而导致降水分布更不均匀、更不对称。这主要是迎风坡使湿空气的上升气流增强,从而导致降水增强。
- (3)冷空气入侵热带气旋外围,使其外围及倒槽降水明显增加。若冷空气入侵热带气旋中心附近,则将使热带气旋结构破坏,强度减弱,导致中心附近降水

明显减小。

(4)受台风环流影响的大陆区域处于干旱期间,水汽少,会导致台风降水明显减少。热带气旋登陆前后海上水汽来源是否充足和维持时间长短可影响其减弱速度,因而也影响降水量。

(5)台风及其倒槽影响时间长短直接影响到其总降水量。

参考文献:

- [1] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等.近 10 年中国台风暴雨研究进展[J].气象,2006,31(12):3-9.
- [2] 江敦春,党人庆,朱志宏.台风暴雨中尺度系统与结构的数值研究[J].热带气象学报,1997,13(2):168-172.
- [3] 蔡则怡,宇如聪.LASG η 坐标有限区域数值预报模式对一次登陆台风特大暴雨的数值试验[J].大气科学,1997,21(4):459-471.
- [4] 姜勇强,王昌雨,张维恒,等.台风倒槽内 β 中尺度低涡及特大暴雨的数值模拟[J].气象学报,2003,61(3):312-322.
- [5] 李英,陈联寿,徐祥德.水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J].大气科学,2005,29(1):91-98.
- [6] ZHU Hongyan, CHEN Lianshou, XU Xiangde. A numerical study of the interactions between typhoon and mid-latitude circulation and its rainfall characteristics [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2000, 24 (5): 669-675.
- [7] 钮学新,杜惠良,刘建勇. 0216 号台风降水 and 影响降水机制的数值模拟[J].气象学报,2005,63(1):57-68.
- [8] Rodgers E B, Pierce H F. Environmental Influence on Typhoon Bobbie's Precipitation Distribution [J]. Journal of Applied Meteorology,

- 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