

文章编号:1004-9045(2008)03-0253-05

近 56 a 武汉市降水气候变化特征分析

张意林¹, 覃 军¹, 陈正洪²

(1.中国地质大学, 武汉 430074; 2.武汉区域气候中心, 武汉 430074)

摘 要:以武汉市 1951—2006 年逐日降水资料为基础, 采用累积距平、线性趋势、移动 T 检验、5%分位数、小波分析等方法, 分析了近 56 a 来武汉市降水气候变化特征。结果表明: (1)近 56 年来, 武汉市年降水量、降水强度呈增加趋势, 而降水日数呈减少趋势; (2)除春季外, 其它季节以及汛期、梅雨期、伏旱期等时段的降水量均有所增加; 降水日数在春、秋季、汛期呈下降趋势, 其余时段则为增加趋势; 降水强度在夏季、伏旱期呈减小趋势, 其余时段均为增大趋势; (3)梅雨期、年的降水量变化较为一致, 其周期性变化明显, 主要表现为 10 a 年代际周期, 突变点约在 1979 年; (4)1960、1970 年代暴雨日数较少, 在 1979 年前后突变增多后, 进入多暴雨阶段; (5)历年最大日降水量、5%分位数极端降水强度、暴雨平均强度变化略有减少趋势但不显著, 而大暴雨平均强度减弱趋势明显。

关键词:武汉市; 降水; 气候变化; 趋势; 极端值; 突变

中图分类号: P467 文献标识码: A

1 引言

近 100 年来, 地球气候经历了一次以变暖为主要特征的显著变化。气候变化及其伴生的极端天气气候事件对全球经济社会发展带来诸多不利影响, 并威胁到人类生命财产安全。近 10 年来, 气象工作者针对这一气候背景对武汉市、湖北省或长江流域的降水气候变化特征进行了研究, 并取得一些有意义的成果。如杨宏青等^[1]通过对长江流域 1960—2001 年降水变化趋势的研究发现, 该流域年面雨量呈不显著的增加趋势, 夏、冬季雨量增加趋势显著, 春、秋季雨量呈下降趋势, 年暴雨日数和暴雨量呈大范围增加趋势。刘可群等^[2]分析了湖北省 1960—2004 年降水气候变化特征, 发现在湖北范围内发生的强降水过程无论次数还是降水强度, 都有增加趋势。李建平等^[3]对地处鄂东的黄冈市 1961—2005 年气温和降水变化事实进行了诊断分析, 发现该市年降水量呈增多趋势, 其中 1960、1970 年代降水偏少, 1980 年代为降水峰值期, 1990 年之后降水又呈下降趋势。陈正洪^[4]等的研究表明, 武汉市近 100 多年(1885—1998 年)暴雨、大暴雨多集中在下半年, 暴雨日春季多于秋季, 最多发生在 6 月, 年暴雨日最多为 12 天, 该市由 1979 年前 20 年的少暴雨期突变为一个多暴雨期(1980—1998 年)。然而, 目前在以变暖为主要特征的全球气候变化背景下, 关于武汉市降水特征的研究并不多, 其研究范围存在局限, 采用方法相对简单, 尚不能说明其异常变化情况。

为了揭示在亚热带湿润季风气候影响下武汉市降水变化的若干特征, 本文在对该市近 56 a 来降水变化事实做出诊断分析的基础上, 着重分析了其降水变化趋势及极端降水情况, 为趋利避害指导农业生产和充分合理利用本地区的气候资源提供决策依据。

2 资料与方法

2.1 降水资料

本文所用资料来源于武汉区域气候中心和湖北省气象档案馆, 为武汉市气象站 1951—2006 年(56 年)逐日降水资料。分析的时间尺度包括: 春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—2 月), 汛期(5—9 月), 梅雨期(6 月 1 日至 7 月 20 日), 伏旱期(7 月 21 日至 8 月 31 日)。

2.2 分析方法

(1)趋势分析法^[5]。在对武汉市近 56 a 降水量、降水日数、降水强度(降水量与降水日数的比值)等三项指标进行趋势分析时, 利用降水指标时间序列(y)与年序数(t)建立一元回归方程:

$$y_i = a + bt_i \quad (1)$$

式(1)中, $i=1, 2, 3, \dots, n$, n 为序列长度; 取 $b \times 10$ 为降水指标变化的倾向率, 将降水量倾向率、降水日数倾向率、降水强度倾向率分别记为 k_p 、 k_d 、 k_s 。b 值的符号“+”、“-”能反映出降水指标增加或减少的趋势。

(2)累积距平法(CA)^[6]。利用累积距平法, 初步判断研究时段内降水指标的突变情况。

收稿日期: 2007-05-31; 定稿日期: 2008-07-29

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF2007-21)、武汉区域气象中心重点科技项目(QY-Z-200807)共同资助

作者简介: 张意林, 男, 1983 年生, 学士, 主要从事环境科学研究。E-mail: iyeelin@163.com

$$CA_j = \sum_{i=1}^j (x_i - \bar{x}) \quad (2)$$

式(2)中, CA_j 为从第 1 年至第 j 年的累积距平(j 为年序列号, $j \leq n$), \bar{x} 为整个序列平均值, CA_j 的正、负极值点可能出现突变, 本文对每一序列只提取 1~3 个最强信号, 且规定不从首尾各 4 年处提取。

(3)移动 T 检验(MMT)^[5]。选用移动 T 检验法对年、梅雨期的暴雨和大暴雨日及雨量的逐年序列进行突变检验。该法为对某一点(年)前、后两端序列平均值的差异性检验, 即

$$T_q = \frac{x_1 - x_2}{S_p(1/m_1 + 1/m_2)^{1/2}} \quad (3)$$

$$S_p^2 = \frac{(m_1 - 1)S_1^2 + (m_2 - 1)S_2^2}{m_1 + m_2 - 2} \quad (4)$$

式(3)、(4)中, j 为年序列号, x_1, x_2 分别为第 j 年前 m_1 、后 m_2 年的平均值, S_1, S_2 则为前 m_1 、后 m_2 年的均方差, S_p 为组合均方差。因考虑到观察突变情况的方便及准确性, 本文多数情况下取 $m_1 = m_2 = m$, 则(3)式可简化为

$$T_q = (x_1 - x_2) / [(S_1^2 + S_2^2)^{1/2}] \cdot \sqrt{m} \quad (5)$$

分别取 m 为 5 a、10 a, 选取信度 $\alpha = 0.01$ 。那么, 当 $T_j > T_{0.01}$ 时, 表明暴雨日、大暴雨日突然减少; 而当 $T_j < -T_{0.01}$ 时, 表明暴雨日、大暴雨日突然增多。

(4)5%分位数取值法。对武汉市近 56 a 极端降水指标及其阈值的确定, 采用 5%分位数取值法^[6]。首先, 设某个气象要素有 n 个值, 将这 n 个值按降序 $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, X_n$ 排列; 然后, 按照第 5 个百分位上的值作为极端降水指标的阈值。然后, 再统计每年超过该临界值的指标, 构成新的序列。

(5)小波分析。小波分析方法^[7]可以将时间序列在时间域和频率域上同时进行分解, 以此揭示武汉市近 56 a 降水指标时间序列的周期性、阶段性和突变性。对于时间序列 $f(t)$, 其小波变换的定义式为

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi^* \left(\frac{t-a}{a} \right) dt \quad (6)$$

表 1 武汉市 1951—2006 年不同时间尺度降水量、降水日数、降水强度的倾向率

倾向率	时间尺度							
	春季	夏季	秋季	冬季	全年	汛期	梅雨期	伏旱期
$k_p / [mm \cdot (10a)^{-1}]$	-5.877	7.011	2.874	7.130	11.144	3.092	10.669	0.559
$k_d / [d \cdot (10a)^{-1}]$	-1.288	0.796	-0.090	0.167	-1.343	-0.130	0.261	0.568
$k_s / [mm \cdot (10a \cdot d)^{-1}]$	0.164	-0.329	0.400	0.189	0.219	0.119	0.056	-0.360

由表 1 中的统计结果可见, 年降水量呈增加趋势, 年降水日数则逐渐减少, 年降水强度呈增大趋势。具体到不同时间段, 降水量除春季之外均呈不同程度的增加趋势; 降水日数在春季、秋季、汛期呈下降趋势, 其余时段(包括夏季、冬季、梅雨期、伏旱期)则呈增

式(6)中, $W_f(a, b)$ 是小波变换系数, a 为伸缩尺度因子, 决定小波宽度; b 为平移, 反映小波位移量, $a, b \in R$, 且 $a > 0$; ψ^* 是 ψ 的共轭函数。本文选择的小波基函数为墨西哥帽(Mexihat)函数

$$\psi(t) = (1-t^2)e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (7)$$

其 Fourier 变换为

$$\psi(w) = w^2 e^{-\frac{w^2}{2}} \quad (8)$$

扰动周期 T 与伸缩尺度 a 的关系为 $T = 3.974a$ 。若取定尺度因子 a , 周期 T 随之确定。

3 结果与分析

3.1 武汉市降水的气候变化特征

3.1.1 降水趋势变化

图 1 是武汉市 1951—2006 年年降水量累计距平图。从图 1 中可见, 近 56 年来该市年降水量变化呈现“增—减—增”的趋势。即: 从 1951 年大约至 1960 年初, 该市年降水量呈上升趋势, 并最终达到统计年份中的最大值; 随后, 1960—1970 年代逐渐下降, 并降至最低; 1980 年代后再开始缓慢上升。从突变时间看, 约在 1979 年出现明显的突变。

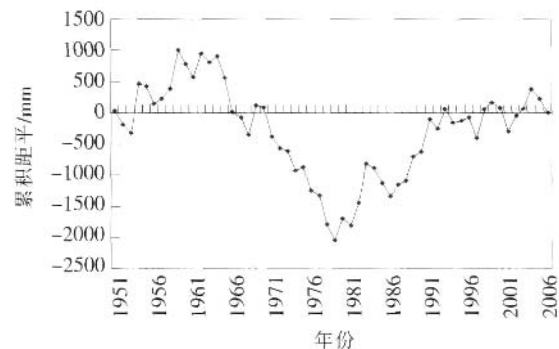


图 1 武汉市 1951—2006 年年降水量累计距平的时间变化

统计武汉市 1951—2006 年不同时间尺度的降水量倾向率(k_p)、降水日数倾向率(k_d)、降水强度倾向率(k_s), 结果见表 1。

加趋势; 降水强度只在夏季(主要是伏旱期)呈减小趋势, 其余时段均呈增加趋势。

3.1.2 梅雨期降水变化特征

图 2 给出了武汉市近 56 年来梅雨期降水量小波模方图、小波实部图和小波位相图。由图 2 可见, 梅雨

期降水量有 6-7 a 和 10-12 a 的主周期; 10 a 左右变化周期在 1970—1980 年代最为明显; 12 a 变化周期, 1960 年代、1980 年代初期、1990 年代初期为正位相,

即梅雨期降水量增加, 1990 年代末期为负位相, 2003 年后又进入正位相(由于靠近正位相边缘, 有待今后进行检验); 梅雨期突变点约在 1978—1979 年。

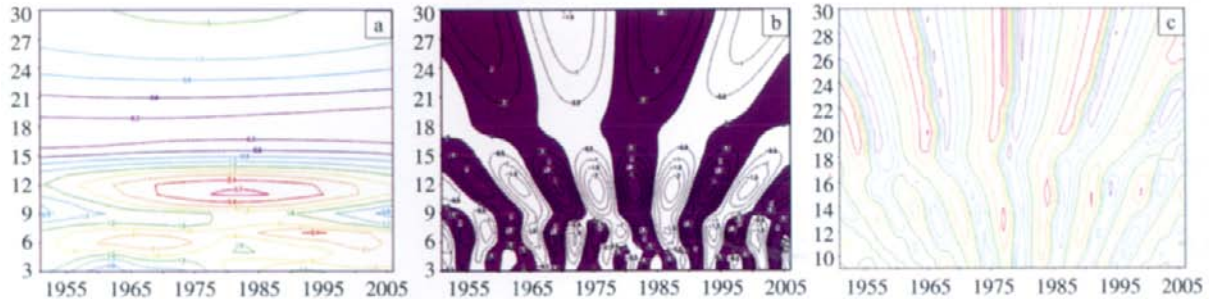


图 2 1951—2006 年武汉市梅雨期降水的小波分析图(横坐标为年份, 纵坐标为周期/a)

(a) 小波模方图 (b) 小波实部图 (c) 小波位相图

3.2 暴雨气候极端值分析

(1)暴雨日与大暴雨日分布。统计武汉近 56 a 不同时间尺度暴雨日与大暴雨日, 这里分别以 D_1 、 D_2 表示暴雨日和大暴雨日, \bar{D}_1 、 \bar{D}_2 分别为 D_1 、 D_2 的多年平均值, 其结果见表 2。

表 2 武汉市 1951—2006 年暴雨与大暴雨日的时间分

要素	时间尺度							全年
	春季	夏季	秋季	冬季	梅雨期	汛期	伏旱期	
D_1	57	165	31	5	120	212	44	258
\bar{D}_1	1.02	2.95	0.55	0.09	2.14	3.79	0.79	4.61
D_2	8	43	2	0	30	52	12	53
\bar{D}_2	0.14	0.77	0.04	0.00	0.54	0.93	0.21	0.95

从表 2 中可见, 武汉市近 56 a 来共有 258 个暴雨日和 53 个大暴雨日, 年均各 4.61、0.95 个, 平均每 5 个暴雨日中有 1 个大暴雨日; 该市各季暴雨、大暴雨日从多到少依次是夏、春、秋、冬季, 其中夏季暴雨日占全年暴雨日的 64.0%, 大暴雨主要集中于夏季, 达到全年大暴雨日的 81.1%; 冬季只出现 5 个暴雨日, 不及全年的 1.9%; 汛期发生暴雨、大暴雨的几率相对较大, 年均分别达到 3.79、0.93 个。

(2)暴雨及大暴雨变化趋势分析。图 3 分别给出了 1951—2006 年武汉市暴雨、大暴雨日数与雨量的累积距平。

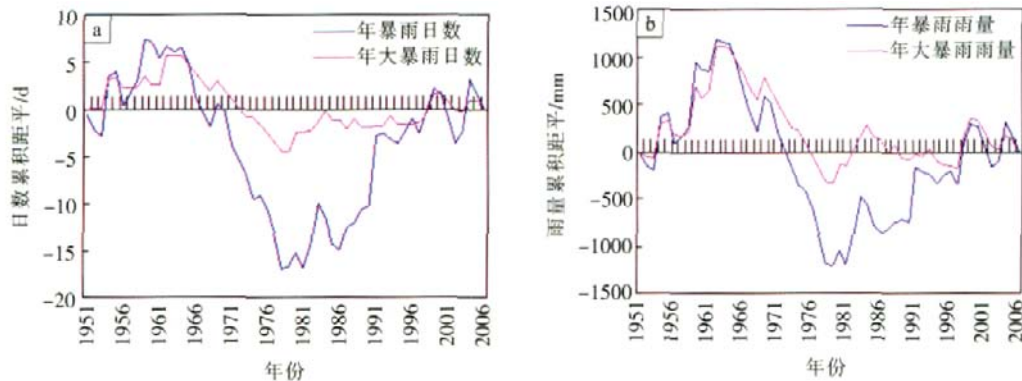


图 3 武汉市近 56 年暴雨、大暴雨日数累积距平(a)及其雨量累积距平(b)

从总体趋势来看, 武汉市暴雨、大暴雨日数在 1950—1960 年代呈增多趋势, 1970 年代中期降至最低值, 近 20 年里又有不同程度的增多; 暴雨日数在 1978 年前后发生一次突变; 年暴雨及大暴雨降水量累积距平变化趋势与其日数的累积距平变化趋势基本相同。

3.3 突变分析

为了揭示武汉市自 1951 年以来 56 年降水的突变情况, 分别采用 $m=5$ 、 $m=10$ 年两个时段对年、梅雨期的降水量、降水日数进行 MTT 突变检测。结果表明, 当 $m=5$ 时, 梅雨期 50 mm 降水量在 1978、1979 年突

变增多; 梅雨期 100 mm 降水量在 1979 年突变增多, 在 1984、1985 年突变减少; 梅雨期 100 mm 降水日数在 1978、1979 年突变增多, 在 1984、1985 年突变减少; 全年 50 mm 降水量在 1960、1965、1968、1969、1975、1988、1989、1997、1998 年突变减少; 全年 100 mm 降水量在 1965、1968、1969、1975、1986、1988、1989、1990、1998 年突变减少; 全年 100 mm 降水日数在 1979 年突变增多; 全年 50 mm、100 mm 雨强均分别在 1963 年、1978 年突变减少和突变增多。当 $m=10$ 时, 梅雨期 100 mm 降水量在 1963 年突变减少; 全年 50

mm、100 mm 降水量均在 1980 年突变增多; 全年 50 mm、100 mm 雨强均在 1964 年突变减少。

综上所述, 在 $m=5$ 、 $m=10$ 年时, 梅雨期或全年暴雨、大暴雨的降水量、降水日数、雨强在 1979 年前后的突变增加几乎都有反映(除梅雨期 $m=10$ 年、全年 $m=5$ 年之外); 梅雨期雨强不存在突变, 年雨强在 1964 年均有的减小的突变。

3.4 年最大日降水量

图 4 给出了武汉市近 56 年历年最大日降水量的变化趋势。从图 4 中可见, 历年最大日降水量略有下降, 每 10 年减小 3.43 mm, 56 年共减少 19.2 mm, 主要是年最大日降水量在 1950 年代的多数年均较大以及 1960—1970 年代显著偏小所致。不过从统计上看, 这一变化并不显著。

3.5 降水极端值分析

降水极端值的确定采用的是 5% 分位数取值法以及日降水量 50 mm、100 mm 等三种方法。图 5 给出

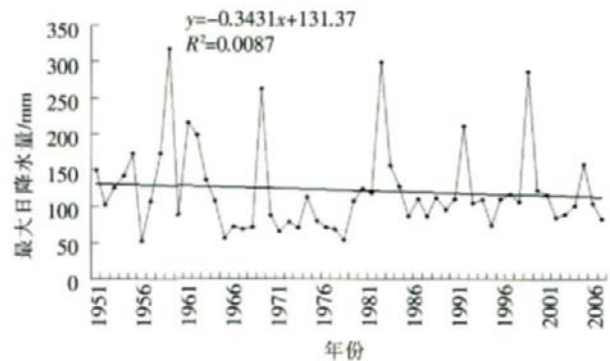


图 4 武汉市历年最大日降水量变化趋势(1951—2006 年)

了武汉市近 56 年极端降水强度值变化趋势。分析图 5 可知, 近 56 年来武汉市三种极端降水强度均有减少趋势, 但 5% 分位数极端降水强度、日降水量 50 mm 的暴雨平均强度变化不显著, 只有日降水量 100 mm 的大暴雨平均强度减弱趋势明显, 达到极显著程度 ($\alpha = 0.01$)。历年最大日降水量变化不明显, 但近 10 年来呈减小趋势。

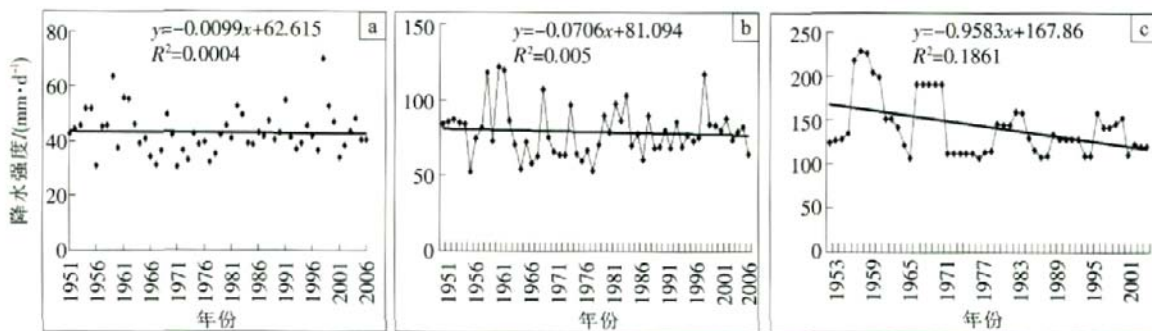


图 5 由 5% 分位数降水强度(a)、暴雨平均强度(b)、大暴雨 5 年滑动平均强度(c)确定的武汉市降水极端强度变化趋势(1951—2006 年)

4 结论

本文以武汉市 1951—2006 年逐日降水资料为基础, 采用累积距平、线性趋势、移动 T 检验、5% 分位数、小波分析等方法对该市近 56 a 的降水气候变化特征进行了分析, 着重分析了其降水变化趋势及极端降水情况, 得出如下几点结论。

(1) 近 56 年来, 武汉市年降水变化雨量呈增加、日数呈减少、强度呈增大的趋势。除春季之外, 各时段降水量均呈增加趋势, 但降水强度与降雨日数变化各有不同。

(2) 梅雨期降水量周期约为 6~7 a、10~12 a 左右, 且 10~12 a 周期变化较为明显; 在 1960 年代, 1980 年代初、1990 年代初表现为正位相, 即降水量增长; 1990 年代末期至 21 世纪初为负位相, 即降水量减少; 2003 年后又进入正位相(由于靠近边缘, 有待今后检验)。突变点约在 1979 年附近。

(3) 在经历了 1960—1970 年代的少暴雨阶段后, 自 1980 年代进入多暴雨阶段; 通过移动 T 检验发现, 暴雨、大暴雨日在 1979 年存在一个增多突变; 梅雨期雨强不存在突变, 年雨强在 1964 年均有的减小的突变。

(4) 历年最大日降水量呈不显著的减少趋势。5% 分位数极端降水强度、暴雨平均强度变化不明显, 只有大暴雨平均强度减弱趋势明显。

参考文献:

- [1] 杨宏青, 陈正洪, 石燕, 等. 长江流域近 40 年强降水的变化趋势[J]. 气象, 2001, 31(3): 66-68.
- [2] 刘可群, 张礼平, 陈正洪, 等. 湖北省近 45 a 降水气候变化特征分析及其对旱涝影响[J]. 气象, 2007, 33(11): 58-64.
- [3] 李建平, 易成功, 张火平. 近 45 a 黄冈市气温和降水的变化与异常特征分析[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(1): 59-63.
- [4] 陈正洪, 杨宏青, 任国玉, 等. 长江流域雨量变化趋势及对干流流量影响[J]. 人民长江, 2005, 36(1): 22-30.
- [5] 陈正洪, 杨宏青, 涂诗玉. 武汉、宜昌近 100 多暴雨与大暴雨日时间变

化特征[J].湖北气象,1999(3):11- 14.

[7] 王学良,王海军,李卫红.近 45 年湖北省雷电日数的时空变化特征分

[6] 潘晓华,翟盘茂.气温极端值的选取与分析[J].气象,2002,28(10):28- 31.

析[J].暴雨灾害,2007,26(1):83- 87.

Analysis on the Change Characteristics of Precipitation in the Latest 56 Years in Wuhan

ZHANG Yi- lin¹, QIN Jun¹, CHEN Zheng- hong²

(1.China University of Geosciences, Wuhan 430074; 2.Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the data of daily rainfall from 1951 to 2006 in Wuhan, several methods such as linear tendency, cumulative distance, analysis of little wave and Moving- T- Test (MTT) are adopted to analyze the rainfall climate change. The results show: (1) in the latest 56 years in Wuhan, the rainfall and rain intensity are increasing and the number of raining day is decreasing; (2) except the spring, the rainfall in the flood season, and hot- drought season is increasing; the number of raining day is decreasing in spring, autumn and the flood season and increasing in the other spells; the rain intensity is decreasing in summer especially the hot- drought season; (3) there are increasing trend of the rainfall and the number of raining day both in the flood season and the total year with a obvious period of ten years; (4) there is a abrupt increasing change for the number of heavy rain day near 1979 with the less number of heavy rain day in 1960s and 1970s and more in 1980s and 2000s; (5) all indexes of the extreme precipitation including the yearly maximum rainfall, 5% value of daily rainfall, the number of raining day and the average rain intensity show a little decreasing tendency, but the average intensity of the torrential rain (daily rainfall 100 mm) is decreasing obviously.

Key words: Rainfall; Climate changes; Tendency; Extremes; Abrupt change

(上接第 241 页)

Analysis on the Forming Reason of A Squall Line Weather in Front of the Upper- Level Westerly Trough

CHEN Hong- zhuan^{1,2}, ZENG Zhi- ming², YANG Su- zhen³, SONG Ming³

(1.Department of Atmospheric Sciences ,Nanjing University, Nanjing 210093;

2.Huaihua Meteorological bureau of Hunan Province, Huaihua 418000;

3.Yuanling Meteorological bureau of Hunan Province, Yuanling 419600)

Abstract: The forming reason of a severe convective weather which took place in the frontier of Hunan province and Guizhou province was analyzed based on the observation data and reanalysis data. It showed that this was a typical squall line event in front of the upper- level westerly trough. The rapid eastward countermarch of Western Pacific Subtropical High, the strong humidity gradient and the strong moisture front- generating created by convergence of cold and warm air triggered the strong convection weather. The instability of atmospheric stratification before and during the occurrence of severe convection weather, good water vapor transfer and convergence condition were extremely advantageous to the development of the severe convective weather. The coupling between strong divergence in the high level and strong convergence in the low level and the existence of strong ascending movement provided the favorable dynamic conditions for the occurrence of the severe convective weather.

Key words: Squall line; Upper- level westerly trough; Humidity gradient; Instability of air layer