吴昊旻,姜燕敏,茅军念.丽水汛期降水多时间尺度演变特征[J].暴雨灾害,2010,29(2):176-180

丽水汛期降水多时间尺度演变特征

吴昊旻[1],姜燕敏[1,2],茅军念[1]

(1.浙江省丽水市气象局,丽水 323000;2.南京信息工程大学应用气象学院,南京 210044)

摘 要:根据 1953—2008 年丽水汛期逐月降水量资料,在利用趋势分析和 Morlet 连续小波变化对汛期降水时频变化特征进行分析的基础上,利用功率谱及 Mann-Kendall 检验等方法对丽水汛期降水的周期性特征及突变性进行检验。结果表明:20 世纪 90 年代前,汛期旱涝交替周期为 16~20 a,90 年代后,交替周期缩短为 4~6 a。近 56 a 来,丽水汛期总降水量呈下降趋势,5 月和 9 月降水量减少较显著,但夏季降水量则有所增加,其中以 8 月最为明显;丽水汛期降水量存在不同尺度的周期分量,并且各周期强度有所不同,其中 5 a 和 18 a 的周期振荡通过功率谱检验。Mann-Kendall 检验显示丽水汛期降水在 20 世纪 80 年代减少最为显著,1962 年是降水减少的突变点。

关键词:气候变化;汛期降水;变化趋势;Morlet 小波分析;功率谱检验;Mann-Kendall 突变

中图分类号:P467 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-9045(2010)02-0176-05

1 引言

关于降水的气候变化特征,近年来不少学者作过深入研究,主要集中于旱涝气候演变[1-2]、暴雨洪涝[3-5]以及热带气旋对降水的影响[6]等方面。在降水的周期性分析上,小波变换技术及相关检验方法得到广泛应用。孙卫国等[7-8]利用小波变换分析等方法研究了河南省气候变化与北极涛动的相关性。廉丽姝等[9]采用功率谱分析等方法,揭示了山东省近 41 年气温与降水的周期变化特征;曹洁萍等[10]运用 Mann-Kendall 检验方法研究了本溪降水量的趋势变化及突变性特征。

丽水市地处浙西南山区,邻近东南沿海,属于亚热带季风气候。1953—2008 年,丽水汛期平均降水量为 823.2 mm,占年均降水的 58.4%,最多的年份占全年降水的 72.2%(2006 年)。丽水市汛期为 5—9 月,分为梅汛期和台汛期[1-2],其中 5—6 月为梅汛期,降水主要受西风带梅雨锋摆动、低涡、切变线或西北太平洋副热带高压影响,多连阴雨或区域性大—暴雨过程。7—9 月的台汛期,降水主要由东风带的热带气旋、东风波、或东、西风带的天气系统相互作用而产生,降水强度大,旱涝灾害频繁。丽水汛期是暴雨洪涝、高温干旱、山体滑坡和泥石流等灾害的高发时段,因此深入研究汛期降水的气候演变规律,对做好汛期的短期气候预测以及防灾减灾有着重要意义。目前,针对丽水汛期降水的长期气候演变规律的研究还较少。本文试图从汛期降水气候变化特征、旱涝分布结构、周期演变规律以及干湿期转折突变等方面着手,探究丽水汛期降水多时间尺度的气候演变规律。

2 资料和方法

本文以丽水市 1953—2008 年汛期月平均降水量为研究对象,资料序列长度为 56 年,共 280 个月。首先采用多尺度趋势分析[11]分析丽水汛期降水年变化、月变化基本特征;在此基础上,通过 Morlet 小波变换[12-13]分析汛期降水的周期性分布。然后利用功率谱[14]检验找出最显著的时频变化周期,采用 Mann-Kendall 检验[15]检查汛期降水在整个时域上的突变点。

气象要素 x_i 的长期变化趋势采用线性回归方程分析[11]:

$$x_i=a+bt_i \tag{1}$$

式中 i 为年份序列号,取 $1,2,\cdots,n$;a 为回归常数;b 为回归系数。

小波变换将信号分解在不同的时频尺度上,时间函数 $f(t)$ 的连续小波变换可表示为[13]:

$$W(a,b)=\int f(t)\psi(a,t-b)\mathrm{d}t \tag{2}$$

其中,$f(t)$ 为时间序列,$W(a,b)$ 是该序列与选定的小波函数族 $\psi(a,t-b)$ 的卷积,a 为伸缩尺度,b 为平移参数,本文选用复值 Morlet 小波做母小波函数。

功率谱分析中使用平滑功率谱,进行汉宁平滑[14],公式为:

$$S_l=\frac{B_l}{m}[r(0)+\sum_{\tau=1}^{m-l}r(\tau)(1+\cos\frac{\pi\tau}{m})\cos\frac{\pi l\tau}{m}]\quad (l=0,1,\cdots,m) \tag{3}$$

收稿日期:2009-12-01;定稿日期:2010-02-28

作者简介:吴昊旻,男,1980 年生,工程师,主要从事气象电子和气象服务等相关工作。E-mail: athlon8048@gmail.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$B_t=\begin{cases}1 & (l\neq 0,m)\\ 1/2 & (l=0,m)\end{cases} \tag{4}$$

S_t 是功率谱密度估计值,$r(\tau)$为时间序列的自相关系数序列,m 是最大时间后延,n 是时间序列长度,周期 $T_l=2m/l$,l 为波数。根据文献[15],m 一般选在 $n/3$~$n/10$ 之间,文中取 $m=18$。

Mann-Kendall 检验法是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰[15]。在该检验法中,对于具有 n 个样本量的时间序列 x,构造一秩序列 s_k,该序列是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计值,在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k=\frac{[s_k-E(s_k)]}{\sqrt{var(s_k)}},k=1,2,\cdots,n \tag{5}$$

式中 $UF_1=0$,$E(s_k)$,$\mathrm{var}(s_k)$是累计数 s_k 的均值和方差。

按时间序列 x 逆序 $x_n,x_{n-1},\cdots,x_1$,再重复上述过程,同时使 $UB_k=-UF_k,k=n,n-1,\cdots,1,UB=0$。

如 UF_k 和 UB_k 出现交点,且交点在临界值之间,那么交点对应时刻即为突变开始时间。

3 汛期降水量变化的多尺度趋势分析

3.1 汛期年降水特征

图 1 给出了丽水 1953—2008 年汛期降水量的变化趋势。从中可以看出丽水汛期降水呈现出明显的年际和年代际变化特征。20 世纪 90 年代之前,丽水汛期降水经历了 4 个比较明显的阶段:1953—1963 年、1969—1975 年两个多雨期阶段,1964—1968 年、1976—1987 年两个少雨期阶段。20 世纪 90 年代之后,多雨期和少雨期交替出现的时间间隔缩短。10 a 滑动平均可以滤掉年际振荡,更方便观察其年代际变化规律,其曲线表明:90 年代前,丽水汛期降水存在约 8~10 a 的丰(水期)枯(水期)交替特征,即有 16~20 a 左右的旱涝交替周期。90 年代后,交替周期缩短为 4~6 a。一元线性回归分析显示,整个序列呈下降趋势,降水倾斜率为-2.5,相当于每 10 a 减少 3.0%。

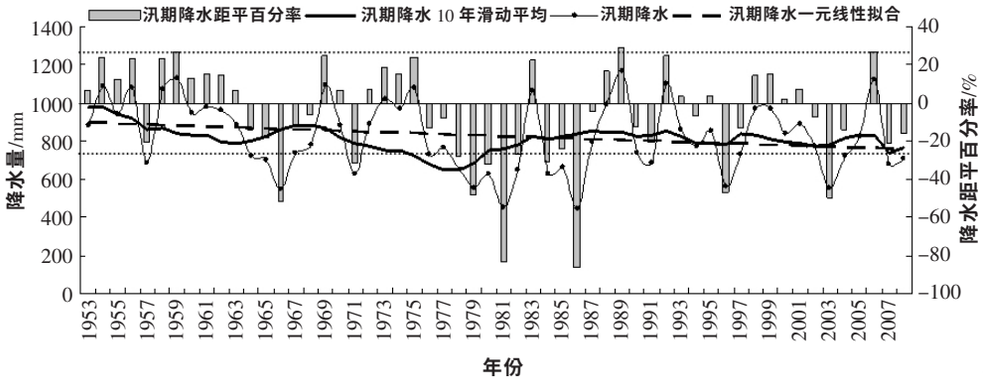

图 1 丽水市 1953—2008 年汛期降水量变化图

文中定义降水量距平百分率≤-25%为旱,降水量距平百分率≥25%为涝[16]。从图 1 可看出,丽水干旱年份明显多于洪涝,且干旱强度较大。丽水 50 年代降水距平偏涝程度明显,60~70 年代旱涝交替出现的频数较高,振幅也较大,80 年代干旱加剧,降水量比 50 年代的丰水期减少约 22.7%,偏旱程度显著,这种干旱趋势一直延续到 80 年代末才得以缓解,90 年代旱涝交替频繁,但幅度较低。1959、1989、1992 和 2006 年为涝年,而干旱主要出现在 1966、1971、1978、1979、1980、1981、1982、1984、1986、1996 和 2003 年,其中 1981 和 1986 年偏旱程度最显著,降水量距平百分率分别高达-83.1%和-86.3%。统计分析表明,丽水旱涝大多由西太平洋副高的位置和强度异常所致,如 60 年代偏旱程度明显与同年汛期副高持续偏强有关;1981 年夏,西太平洋副高的位置较常年偏西、偏北,受副高控制,丽水出现持续的干旱天气。

3.2 汛期月降水特征

丽水 56 a 汛期各月降水量统计情况见表 1。就汛期月均降水量而言,6 月最多,5 月次之,7 月最少。可见,丽水汛期降水各月分布不均匀,6 月降水量是 7 月的 2 倍以上。月均降水日数则 5、6 月最多,8 月次之,9 月最少,因为梅汛期,多连阴雨天气及区域性大到暴雨过程,连阴雨虽降水强度小,但持续时间长;台汛期,多晴热高温天气,同时也经常受到热带气旋的影响[6],热带气旋带来的降水,时间短,但强度大;总体而言,丽水梅汛期的降水还是多于台汛期,占汛期降水总量的 53.8%。

对 56 年来汛期各月的降水量做一元线性回归分析,得到 5—9 月各月降水量的倾斜率(见表 1)。5 月、9 月降水量呈下降趋势,6、7、8 月降水倾斜率为正,其中 8 月降水增加最明显。但总体上 5、9 月份的下降趋势明显大于 6—8 月的增加趋势,所以汛期总的降水

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 丽水 1953—2008 年汛期各月降水量统计表

统计量	月份					汛期
	5	6	7	8	9	
月均降水量/mm	194.6	247.9	119.7	137.5	123.5	823.2
月均降水日数/d	17.4	17.4	12.7	14.2	12.4	74.1
一元线性倾斜率	−2.4	0.2	0.2	1.1	−1.5	−2.5
降水增减量/mm	−134.1	10.1	10.1	62.6	−86.6	−137.9
增减幅度/%	−68.9	4.1	8.5	45.6	−70.1	−16.7

趋势仍表现为下降。

丽水汛期各月降水增减幅度与浙江省汛期月降水量变化趋势基本一致[2],两个季节转换月份 5 月(春季向夏季转换)、9 月(夏季向秋季转换),降水量明显减小,而夏季降水量是增加的,尤其 8 月增加明显。丽水汛期月降水量变化幅度明显大于浙江省平均水平,如 56 a 来丽水 5 月和 9 月降水量分别下降 134.1 mm 和 86.6 mm,平均降幅为 69.5 %,明显超出浙江省 25.5% 的降幅。丽水夏季降水量平均增幅为 19.4 %,与浙江省增幅相同,其中 6、7 月明显小于浙江省平均水平,只有 4.1%和 8.5%,而 8 月增幅却高达 45.6%。整个汛期降水仍表现为下降趋势,下降幅度为 16.7%。

4 汛期降水多时间尺度小波分析

Morlet 小波系数的变化趋势与气候信号的起伏基本是一致的,不同时间尺度下的小波系数可以反映系统在该时间尺度(周期)下变化特征:正负小波系数的转折点对应着突变点,小波系数绝对值越大,表明该时间尺度变化越显著[17]。图 2 为丽水汛期月降水量距平序列的 Morlet 小波变换系数在时间—频率域中的变化情况。分别从年际、年代际尺度及趋势演变推测对丽水汛期降水周期做相应分析。

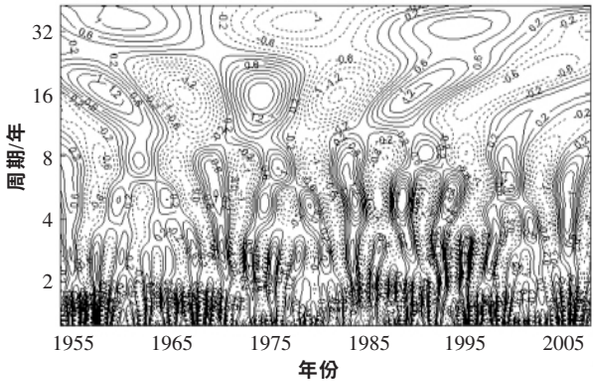

图 2 丽水市 1953—2008 年汛期月降水距平序列 Morlet 小波变换系数图

对于 1~10 a 年际尺度的周期变化来看,信号的主要变化特征体现在 2~8 a 周期上,在全时域都有明显的响应,正负中心有规律地交替出现。对于 2~4 a 时间尺度来说,1953—1966 年周期振荡较弱,以 4 a 左右的振荡为主;1967—1998 年振荡加强,3 a 振荡成为周期变化的主要成分;1999—2008 年,闭合中心值变小,正负交替再次减弱。

在 4~8 a 时间尺度上的振荡周期较为清晰,1967 年前振荡强度较弱,以 5 a 左右的周期振荡为主;1967 年后,闭合中心值增大到 1.2 或 1.0,等值线变密,振荡强度加大。降水较多的年份有 1967—1969、1974—1976、1983—1985、1988—1990、1993—1995、1998—2000 和 2004—2006 年;降水较少的年份集中在 1970—1973、1980—1982、1985—1987、1990—1992、1995—1997、2002—2004、2006—2008 年。

对于 10 a 以上的年代际尺度周期变化,从 16 a 尺度来看,1953—1962、1970—1978、1984—1993 降水较多,而 1962—1970、1978—1984、1993—2008 年降水较少,旱涝分界的转折点出现在 1962、1970、1978、1984 和 1993 年。在整个时域上,18 a 周期振荡最为明显,1958、1973 和 1990 年的振荡中心值达 1.2 以上,1965 和 1981 年对应−1.2 的闭合中心,在 1993 年后周期振荡强度有所减小,其后对应的负值中心减为−0.6。汛期降水最多的时段出现在 1970—1978 年,对应正的小波系数达 1.4 的闭合曲线,中心点在 1973 年,表明这一时段的汛期降水是近 56 年来最多的。对于 32 a 尺度来说,仅可分为 1970 年之前的偏涝期、1970—1990 年的偏旱期以及 1990 年之后的偏涝期。

由小波系数的变化趋势可以预测未来几年气候旱涝变化趋势。根据年际尺度上强 4~8 a 的周期振荡规律,2008 年后丽水汛期降水演变趋势仍处于负值中心附近,表明近年丽水汛期降水仍呈减少的趋势。而年代际尺度上强 16~20 a 周期变化显示丽水汛期降水还处于负值尾声,可再次验证 2008 年后的近几年丽水汛期降水发展趋势表现为较常年偏少。

5 汛期降水变化的功率谱分析和 Mann-Kendall 检验

5.1 功率谱周期检验

通过对丽水汛期降水量时间序列进行功率谱分析,可以从谱曲线中的谱值最大来确认主要振动及其对应的周期,进而揭示和验证其变化规律[14]。图 3 为丽水 1953—2008 年汛期降水量功率谱估计图,对 Morlet 小波分析的结果进行检验。图中实线为功率谱值,虚线为 90%置信水平的白色噪音谱。由图可见,丽水汛期降水功率谱曲线中有两个峰值,分别对应 5.14 a 和 18 a,并且只有这两点通过 90%的白色噪音谱检验。所以丽水汛期降水序列,在年际尺度上 5 a 左右的周

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

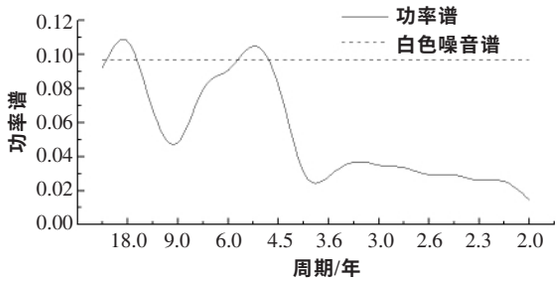

图 3 丽水市 1953—2008 年汛期降水量功率谱曲线图

期通过了检验,在年代际尺度上存在明显的 18 a 周期振荡。

5.2 Mann-Kendall 突变检验

使用 Mann-Kendall 法, 检测丽水 1953—2008 年汛期降水量序列的变化趋势和突变。给定显著性水平 α 通过 0.05,即 $u_{0.05}$=±1.96(图 4 中虚直线表示 95%置信度检验线),构造 UF 和 UB 统计序列。

图 4 为丽水汛期降水量 Mann-Kendall 检验曲线。从图中可以看出,UF 曲线在整个时域中都小于 0,说明丽水汛期降水量整体呈下降趋势。分时段来看,丽水汛期降水在 1959—1968 年、1975—1986 年期间呈减少趋势,而在 1953—1959 年、1968—1975 年、1986—2008 年期间呈增加趋势。整体来看,汛期降水减少趋势大于增加趋势,如 1965—1973 年、1978—1998 年和 2003—2005 年, 这种减少趋势超过显著性水平 0.05 临界线,其中 1979—1991 年,这种减少的趋势甚至还超过了 0.001 显著性水平($u_{0.001}$=2.56),表明 20 世纪 80 年代汛期降水减少最为突出。根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,可以确定丽水汛期降水在 20 世纪 60 年代发生了突变,具体是从 1962 年开始的,到 20 世纪 80 年代降至最低值。

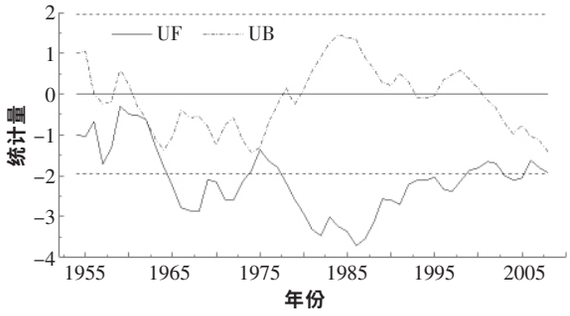

图 4 丽水 1953—2008 年汛期降水量 Mann-Kendall 检验曲线图

6 结论

(1)近 56 a 来丽水汛期降水量呈现下降趋势,约每 10 a 减少 3.0%。其中 5 月和 9 月两个季节转换月份降水量减小最为显著,下降趋势明显高于浙江省平均水平。夏季的降水量呈增加趋势,8 月增加最明显。

(2)丽水汛期的干旱频率与强度明显多于洪涝,其中梅汛期降水占汛期降水的 53.8%。90 年代前,汛期旱涝交替周期为 16~20 a,90 年代后, 交替周期缩短为 4~6 a。

(3)丽水汛期降水量存在不同尺度的周期分量,并且各周期强度有所不同,其中 5 a 和 18 a 的周期振荡通过功率谱检验。由 5 a 和 18 a 的显著周期振荡推测,2008 年后丽水汛期降水还将经历一段降水偏少期。Mann-Kendall 检验显示,丽水汛期降水在全时域中呈下降趋势,80 年代降水减少最为显著,1962 年为由降水增多转为减少的突变点。

参考文献:

[1] 薛根元,周锁铨,李庆祥,等.浙江省梅汛期降水与洪涝灾害的长期变化[J].自然灾害学报,2004,13(5):69-74.

[2] 钟元,顾骏强,滕卫平,等.浙江省汛期旱涝趋势对气候变暖的响应[J].浙江大学学报(理学版),2007,34(1):106-114.

[3] 赵玉春,王叶红.近 30 年华南前汛期暴雨研究概述[J].暴雨灾害,2009,28(3):193-228.

[4] 杨羡敏,潘娅英.丽水市 40 年洪涝的气候特征及演变趋势预测[J].浙江气象,2003,25(3):5-8.

[5] 凌良新,袁 振,陈往溪,等.潮州市近 51A 降水量和暴雨日数的时间变化特征分析[J]. 暴雨灾害, 2009,28(3):283-287.

[6] 周国华,孙莉莉,胡淳焓,等.影响丽水的热带气旋降水气候特征[J].广东气象,2008,30(4):27-29.

[7] 孙卫国,程炳岩,顾万龙.河南省气候变化与北极涛动的多时间尺度相关[J].高原气象,2008,27(2):430-441.

[8] 孙卫国,朱业玉,王记芳,等.河南省气候变化与北极涛动的时频相关[J].气象与环境科学,2008,31(4):1-7.

[9] 廉丽姝,李为华,朱平盛.山东省近 40 年气候变化特征[J].气象科技,2006,34(1):57-61.

[10] 曹洁萍,迟道才,武立强.Mann-Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J].农业技术与装备,2008,179(5):35-40.

[11] 施能,陈家其,屠其璞.中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J].气象学报,1995,53(4):431-439.

[12] 丁裕国,江志红.气象数据时间序列信号处理[M].北京:气象出版社,1998:278-283.

[13] 林振山,邓自旺.子波气候诊断技术的研究[M].北京:气象出版社,1999:24-37.

[14] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法(第 3 版)[M].北京:气象出版社,2007:215-226.

[15] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社,1999:63-66.

[16] 黄荣辉,徐予红,周连童.我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J].高原气象, 1999,18(4):465-476.

[17] 孙卫国,程炳岩.河南省近 50 年来旱涝变化的多时间尺度分析[J].南京气象学院学报,2000,23(3):251-255.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

The Multi-time-scale Analysis of Flood Season Precipitation Evolution in LiShui City

WU Hao-min[1], JIANG Yan-min[1,2], MAO Jun-nian[1]

(*1.Lishui Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Lishui 323000*;
2. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

Abstract: Based on the monthly mean precipitation data from 1953 to 2008 in Lishui, the change tendency and Morlet wavelet transform were first used to analyze the time-frequency characteristics of flood season precipitation, and then the periodicity and abrupt change were analyzed by means of power spectrum and Mann-kendall test. The results show that the alternating cycle of drought and flood was 16-20 years before 90th, and the cycle changed to 4-6 years after 90th later. The flood season precipitation in Lishui area showed a decreasing tendency over the past 56 years. Month rainfall decreases in May and September, and increases in summer, especially in August. It was found that the flood season precipitation was characterized by obvious seasonal changes, and 5 years oscillation and 18 years periodicity passed the power spectrum test. The M-K test results show that the flood season precipitation decreased significantly in the 1980s, and abrupt change occurred in 1962.

Key words: Climatology; Flood season precipitation; Change tendency; Morlet wavelet analysis; Power spectrum test; Mann-kendall abrupt change

(上接第 170 页)

Diagnostic Analysis of an Extraordinary Storm Process in Ningbo City

ZHANG Chen-hui[1], LIU Jing[2], ZHANG Cheng-ming[3], ZHANG Jing-Jing[1]

(*1.Beilun Meteorological Bureau of Ningbo, Ningbo 315800*;
2.Fuzhou Meteorological Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350014;
3.Meteorological Bureau of Ningbo, Ningbo 315012)

Abstract: By using the conventional observation data and NCEP 1°×1° reanalysis data, an extraordinary storm occurred in Ningbo on September 5, 2008 is analyzed. The analysis shows that the join of cold air, warm and humid air from southwest and the southeast provided a favorable condition for the occurrence of heavy rain in Ningbo. Heavy rain typically appears in the steepest and densest areas of θ_{se} where cyclonic vorticity development is most powerful. Helicity center moving vertically to the lower level will result in an obvious enhancement of rainfall intensity. Moist Potential Vorticity positive Center can better reflect the upper cold air activities. The changes of the negative intensity of Mpv2 on the low-level have some indication to the precipitation intensity. It can not be ignored that the enhancement of the atmosphere baroclinicity could contribute to heavy rain.

Key words: Extraordinary storm; θ_{se}; Vertical elicit; MPV

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net