

# 广西近50年暴雨日数变化的小波分析

廖雪萍<sup>1</sup> 覃卫坚<sup>1</sup> 唐炳莉<sup>2</sup> 丘平珠<sup>2</sup>

(1. 广西区气候中心, 南宁 530022; 2. 广西区气象信息中心)

**提 要:** 利用1951—2005年广西降水资料, 使用Morlet小波分析方法分析了暴雨和大暴雨日数的年际变化, 结果表明均具有明显的周期变化规律特征, 都存在着2、4、8、14年周期振荡信号, 其中2年周期振荡信号最强, 其次为4、8、14年, 各周期信号分布的时间区域略有差异。广西暴雨日数变化总趋势为逐渐增多, 在1990年代进入高峰期。影响广西暴雨发生的主要天气系统为热带气旋、西南低涡、低空急流、高空槽, 其中热带气旋、西南低涡是广西特大暴雨发生的主要原因。

**关键词:** Morlet小波分析 暴雨 影响系统

## Wavelet Analysis of Variation of Rainstorm Days in Guangxi in Recent 50 Years

Liao Xueping Qin Weijian Tang Bingli Qiu Pingzhu

(1. Guangxi Climate Center, Nanning 530022; 2. Guangxi Meteorological Informational Center)

**Abstract:** Based on the analysis of inter-annual variation of rainstorm and heavy rainstorm days in Guangxi from 1951 to 2005 with the Morlet wavelet method, it shows that both exist significant periodic oscillations, with strong 2-, 4-, 8-, 14-year periods and 2-year period as the strongest. Moreover, the distributions of the frequencies and intensities are so different that the short-period oscillations are stronger than the longer ones. The rainstorm days in Guangxi exhibit an increasing tendency on a long-term basis. There are four main synoptic systems that influence the occurrence of Guangxi rainstorm: tropical cyclone, southwest vortex, low-level jet and upper-troposphere trough, and the main influencing system contributing to the excessive rainstorm in Guangxi is tropical cyclone and southwest vortex.

**Key Words:** Morlet wavelet method rainstorm influencing system

## 引 言

广西地处低纬度地区,具有西北高东南低的地势分布特征,南部濒临海洋,易受台风、西南低涡等天气系统影响,非常有利于强降水的发生。每年因暴雨引发的洪涝灾害都会给广西造成严重的经济损失和人员伤亡,如 1994 年受灾面积 165 万  $\text{hm}^2$ ,直接经济损失数百亿元。近 50 年来广西全区年降水量总的有增加的趋势,年降水量变化率为  $13\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$  左右,1960 年代中期到 1980 年代初和 1990 年代前期为相对偏多期,1960 年代前期和 1980 年代中后期为相对偏少期。因此,研究暴雨的发生发展对广西的防灾减灾工作具有重要的意义。

小波分析是一种信号的时间-频率分析方法,具有多分辨率分析的特点,在时频两域都能反映出信号的振幅、位相和功率的局部变化特征<sup>[2-4]</sup>,它优于传统的 Fourier 分析,近年来广泛应用于多尺度气候分析研究,并取得了良好的效果。如沈锦花等<sup>[5]</sup>利用 Morlet 小波分析方法分析了浙江省 534 年的旱涝气候周期变化规律。本文使用一元回归和 Morlet 小波分析广西历年的暴雨和大暴雨变化规律,并结合天气系统分析其发生发展的成因。

## 1 资料和分析方法

### 1.1 资料来源

使用 1951—2005 年广西 88 个气象观测站的 20:00—20:00 的日降水资料进行分析,如果 20:00—20:00 的 24 小时降水量  $\geq 50\text{mm}$  时,就定义为一个暴雨日,如果 20:00—20:00 的 24 小时降水量  $\geq 100\text{mm}$  时,定义为一个暴雨日。如果 24 小时降水量  $\geq 250\text{mm}$  或 12 小时降水量  $\geq 150\text{mm}$  时,定义为一个特大暴雨。

## 1.2 Morlet 小波分析方法

Morlet 小波是正弦和余弦波的振幅被高斯函数调节产生的,表示成复小波<sup>[6]</sup>,本文采用的 Morlet 基小波为:

$$\varphi(t) = e^{i2\pi t} e^{-\left(\frac{2\pi}{k_\varphi}\right)^2 \frac{t^2}{2}} \quad (1)$$

其中  $k_\varphi = 10$ ,分析小波为:

$$\varphi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} e^{2\pi i \left(\frac{t-b}{a}\right)} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{k_\varphi}\right)^2 \left(\frac{t-b}{a}\right)^2} \quad (2)$$

$a > 0, b \in R$

其中  $a$  为尺度参数, $b$  为平移参数。

当分析对象  $f(t)$  为平方可积时,即满足:  $\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t) dt < \infty, f(t) \in L^2$ ,它的连续小波变换为:

$$w(a,b) = (f, \varphi_{a,b}) = a^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (3)$$

符号  $(,)$  表示内积,  $*$  表示共扼。

Morlet 小波系数的实部表示不同特征时间尺度信号在不同时间上的分布和位相两方面的信息,正的小波系数反映出分析对象在该时间段为偏多期,负值时反映为偏少期,零值对应着突变点。

## 2 广西暴雨及大暴雨分布及变化特征

### 2.1 暴雨分布及变化特征

#### 2.1.1 暴雨地理分布特征

广西年平均暴雨日数为 3~15 天,受地形的影响存在 4 个暴雨中心(图 1):一是以东兴、防城为中心的沿海地区,二是以昭平为中心的大岭山东麓地区,三是以永福、桂林为中心的桂东北地区,四是以都安为中心的“东巴凤”地区,这些地区年平均暴雨日数都达到 6 天以上。其中地处十万大山南侧的东兴,由于南来暖湿气流沿山坡抬升,使辐合上升气流增强,以及易受台风影响,因此发生暴雨最多,年平均暴雨日数达到 15 天,百色市西

部地区发生暴雨最少,年平均暴雨日数仅为 3~4 天,全区其他地区为 4~6 天。

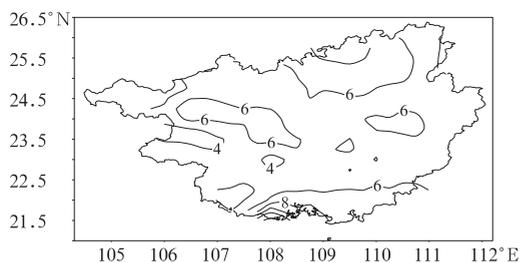


图 1 广西年平均暴雨日数分布图

### 2.1.2 暴雨时间变化特征

图 2 给出暴雨日数及距平的年际变化,如图 2a 所示,由一元回归线可看出广西暴雨总体有逐渐增多的趋势,回归系数为

0.093 天/10a,即每 10 年增加 0.093 个暴雨日。各站年暴雨日数多年平均为 5.6 天,最少年 1963 年为 2.6 天,最多年 1994 年为 8.7 天。1961 年以来,降水量最多的 1994 年广西 90 个气象站共下暴雨 794 站次,为有气象记录以来广西暴雨日数最多的一年,平均降水量达 2006.6mm。降水量最少的 1963 年平均降水量仅 1151.8mm。1994 年发生了 1950 年以来广西最大的洪涝灾害,1963 年是广西干旱最严重的一年。由图 2b 可看出,1950 年代中期到 1960 年代中期和 1980 年代基本上都是负距平,这两个时期的暴雨日数比常年偏少,其他时期为正距平多于负距平,尤其在 1993 年以后暴雨日数明显比正常年偏多。

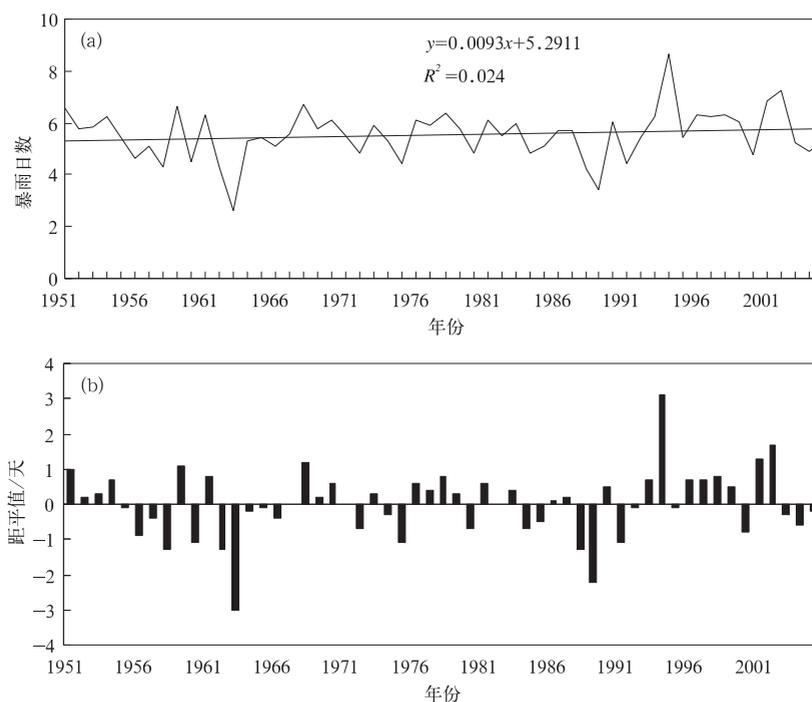


图 2 广西年暴雨日数(a)及其距平值(b)年际变化图

从 Morlet 小波分析图(图 3)可以看出广西暴雨日数有明显的周期性变化规律,主要特征为存在着明显的 2、4、8 和 14 年周期振荡信号。1952—1961、1989—1997 年期间

存在着 2 年周期振荡信号,其强度最强,1989—1997 年期间经历了少→多→少→多→少→多→少→多→少 9 个循环。1981—2005 年存在着较强的 4 年周期振荡信号,期

间经历了 1981—1983 年多→1983—1985 年少→1985—1987 年多→1987—1989 年少→1989—1991 年多→1991—1993 年少→1993—1995 年多→1995—1997 年少→1997—1999 年多→1999—2001 年少→2001—2003 年多→2003—2005 年少 12 个循环。1955—2003 年存在着 8 年周期振荡信

号,近期经历了 1988—1992 年少→1992—1996 年多→1996—2000 年少→2000—2004 年多。1957—1999 年还存在大尺度的 14 年周期振荡信号,期间经历了 1957—1964 年少→1964—1971 年多→1971—1978 年少→1978—1985 年多→1985—1992 年少→1992—1999 年多 6 个循环。

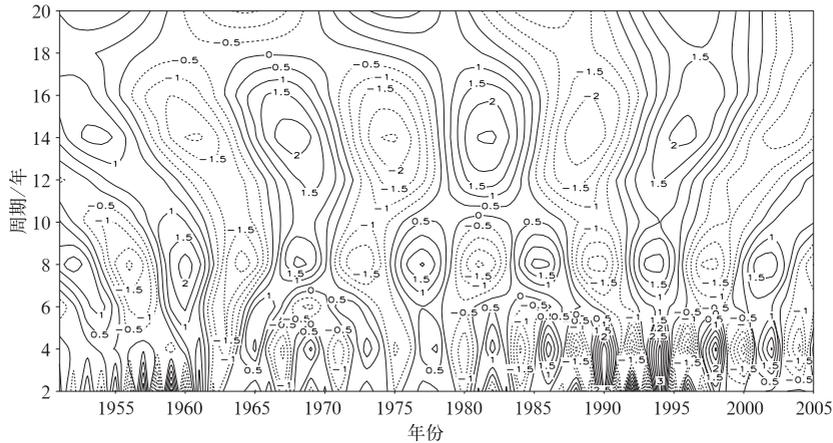


图 3 广西年暴雨日数的 Morlet 小波分析实部图

## 2.2 大暴雨分布及变化特征

### 2.2.1 大暴雨地理分布特征

广西各站年平均大暴雨日数为 0.2~5 天,其中东兴最多为 5 天,隆林最少仅为 0.2 天。由广西的地形分布特征,最可能出现大暴雨的地区为沿海地区,年平均暴雨日数均在 2 天以上,其次为柳州市北部山区、百色市东部,年平均大暴雨日数也达到了 1 天左右,全区其他地区一般为 0.2~1 天。

### 2.2.2 大暴雨时间变化特征

图 4 给出大暴雨日数及距平年际变化。由图 4a 一元回归线可看出广西大暴雨总趋势是逐渐增多的,回归系数为 0.03 天/10a 左右,即每 10 年增加 0.03 个大暴雨日。广西各站年平均大暴雨日数平均为 0.95 天,最

多年 1994 年为 2.1 天,最少年 1963 年仅为 0.3 天。由广西大暴雨日数距平值年际变化图(图 4b)可见,1957—1992 年期间负距平明显多于正距平,说明这时期大暴雨比常年偏少,1993 年以后距平值基本上是正值,即大暴雨比常年偏多,说明了这时期为大暴雨的高发期。

Morlet 小波分析结果表明广西大暴雨变化同样也具有明显的周期变化规律(图 5),主要特征为具有很强的 2 年周期振荡信号,其次为 4、8 和 14 年周期振荡信号。分别为 1962—1977、1999—2000 年有 2 年周期振荡,其中 1991—2000 年有 2 年周期振荡,其中 1991—2000 年期间经历了少→多→少→多→少→多→少→多→少→多 10 个循环。1975—2005 年存在着 4 年周期振荡信号,近

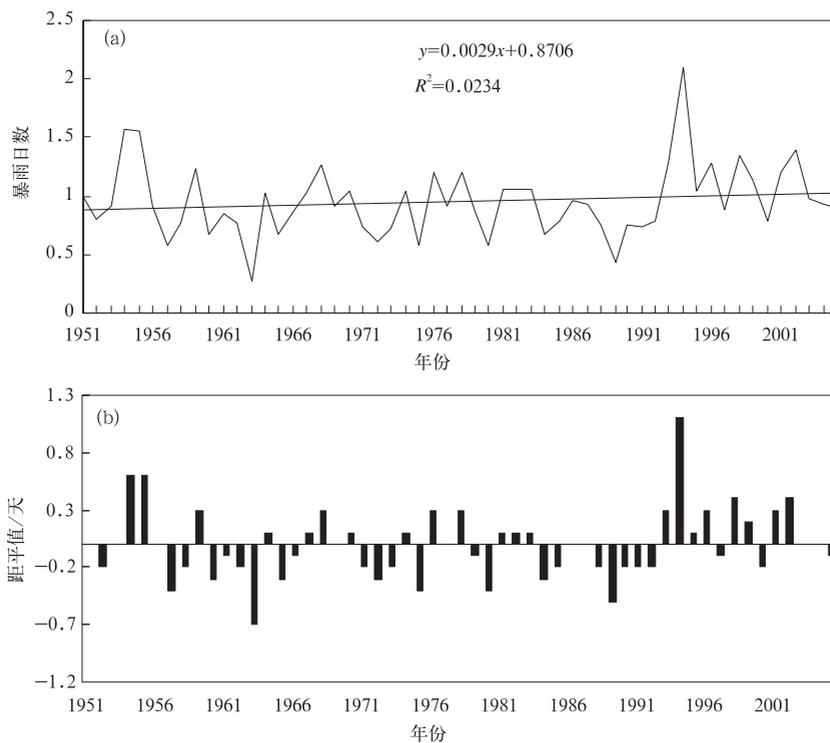


图 4 广西年大暴雨日数(a)及其距平值(b)年际变化图

期经历了 1995—1997 年少→1997—1999 年多→1999—2001 年少→2001—2003 年多→2003—2005 年少。1975—1987、1992—2004 年存在着 8 年周期振荡信号,期间经历了 1975—1979 年多→1979—1983 年少→1983—1987 年多,1992—1996 年多→1996—

2000 年少→2000—2004 年多。1958—2000 年还存在着大尺度的 14 年周期振荡信号,期间经历了 1958—1965 年少→1965—1972 年多→1972—1979 年少→1979—1986 年多→1986—1993 年少→1993—2000 年多 6 个循环。

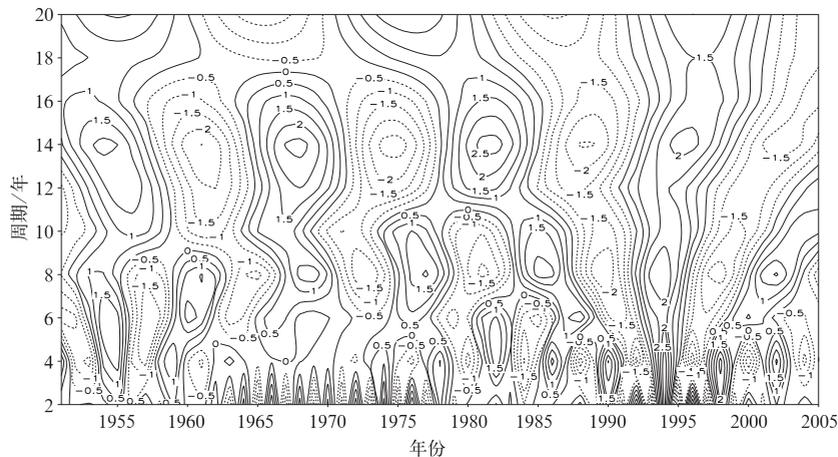


图 5 广西年大暴雨日数的 Morlet 小波分析实部图

### 3 广西暴雨发生的主要天气形势特征分析

造成广西暴雨的主要天气系统,前汛期为低涡、急流、高空槽、切变线、低层切变、地面锋面等,后汛期为热带气旋、西南低涡、高空槽、热带辐合线等。其中对广西暴雨影响最大的天气系统为热带气旋、西南低涡、低空急流、高空槽。

#### 3.1 热带气旋

1951—2005 年期间,影响广西的热带气旋平均每年有 5 个,最多年达 9 个,最少年为 0 个。一元回归线可看出影响广西的热带气旋总体上有明显的减少趋势,回归系数为  $-0.513$  个/10a 左右,即每 10 年减少 0.513 个。影响台风个数距平值和广西暴雨日数距平值的变化中,发现两者正负一致的年份仅为 24 年,而相反的有 29 年。而统计最近 30 年的 40 次广西特大暴雨的天气过程中,其中有 23 次是热带气旋造成的,其余 17 次为西南低涡。这说明热带气旋是造成广西特大暴雨的最重要天气系统,但不是引起暴雨增加的主要原因。其大气环流特征为:

(1) 当热带气旋中心向西北或偏北移进广西境内时,副高西脊点(588 线西脊点)东撤到与气旋中心所在经线 5 个经距以东的地方,此时热带气旋东侧为偏南急流,就会引导低纬度的云系卷入气旋外螺旋云系中,使云系结构更加紧密,促进暴雨、大暴雨发生。

(2) 当热带气旋进入广西境内,恰好有高空槽东移到河套至四川一带,形成北槽南涡的形势,就会使气旋移速减慢并逐渐转为偏北方向,延长了其对广西影响的时间,从而使暴雨、大暴雨发生。

(3) 当热带气旋进入广西境内,同时有冷空气南下影响广西,冷空气刚好移到南岭一带,会使热带气旋倒槽加强,易形成暴雨、大暴雨。

#### 3.2 西南低涡

西南低涡是青藏高原地形和大气环流共同作用的产物,是造成广西暴雨的重要天气系统。它的移动路径有两个,一是东移,这一类低涡一般不进入广西境内,对广西的暴雨影响稍小些。二是东南移,这一类低涡进入广西境内一般都会造成大范围的暴雨过程。在统计分析 17 个西南低涡中,其中有 4 个为东移型的,对广西暴雨影响较少,广西暴雨站数都少于 20 个;在 13 个东南移型西南低涡中,其中有 11 个造成广西暴雨站数达到 20 个以上。进入广西境内的西南低涡,其形成的环流特征可分为 3 种类型:

(1) 切变线(或低涡)南移到广西后形成低涡,生成前一天其环流特征是:(a)850hPa 切变线位于  $25\sim 28^{\circ}\text{N}$  之间,呈东西向,其北部地区存在一个有 3~5 个纬距宽的偏东北风带和面积范围较大的冷高压,在北部 10~15 个纬距和  $105\sim 112^{\circ}\text{E}$  区域内各气象站的 500hPa 高度比南宁高 0~4dgpm 之间,最好为 1~3dgpm,在这种情况下切变线南移到广西境内后,很容易静止下来。(b)地面、925hPa、850hPa 广西处于倒槽内,呈东高西低、北高南低形势。(c)700hPa 切变线与 850hPa 切变线相距在 3 个纬距以内,成都、宜宾、西昌、丽江、昆明、贵阳、威宁等站多吹东北风。(d)500hPa 高度场在高原东部有小槽,成都、宜宾、西昌、丽江、昆明、贵阳、威宁有 2 站以上吹偏东北风。在以上的天气形势下,切变线移到广西后容易形成低涡。典型个例如 1994 年 6 月 17 日切变线移到广西后形成低涡,导致广西 79 个站降雨,其中大暴雨 11 个站,暴雨 20 个站,大雨 15 个站。

(2) 高空深槽东移切断而形成低涡,其环流特征为:500hPa(或 700hPa)在  $20\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $105\sim 110^{\circ}\text{E}$  的区域内形成一个 NE—SW 走向的深槽,槽底伸至  $20\sim 25^{\circ}\text{N}$  之间,此后深槽北段东移速度较快,深槽南段被切

断形成低涡,川、滇、黔一带 500hPa(或 700hPa)吹偏东北风,广西境内地面、925hPa、850hPa 处于倒槽内。

### (3) 两高夹一低而生成低涡

这类低涡主要形成于盛夏 7—8 月之间,其主要环流特征为:青藏高原西部有高压形成并东移,和田、民丰一带 500hPa 高度场  $h \geq 588$ dgpm,副热带高压脊南落,西端脊线在  $20^{\circ}\text{N}$  以南,海口吹偏西风,在以上两个高压之间形成低槽区,成都、汉口、上海 500hPa 平均高度  $\leq 586$ dgpm,槽内经常有低涡生成并南移,当青藏高原高压东移北伸时,低涡可移至广西境内。如 1997 年 7 月 7 日广西生成的低涡就是一个两高夹一低的典型个例(图略),在低涡影响下,8 日广西有 22 个站下了暴雨。

### 3.3 低空急流

低空急流不仅为暴雨形成提供了充足的水汽,而且还促进大气层的对流不稳定。广西低空急流有 3 类:一是南移类,急流产生在锋前暖区之中,随冷空气的南下而南移。二是北移类,由于西南季风加强而形成,多数在越南南方形成,以后北移到西沙群岛以北,这一类急流往往与北方冷空气南移同时出现,它可造成广西沿海暴雨。三是复合类,当一次北移类低空急流或南移类低空急流在沿海维持摆动时,又有一次新的南移类低空急流产生并南移,这样在华南沿海有两支风速轴形成广阔的西南风区,或二者合并于沿海地区,造成大范围的持续暴雨发生。

### 3.4 高空槽、副热带高压

当广西处于副热带高压边缘时,在副高西北缘吹偏南风,带来了大量的暖湿气流,有利于广西强降水的发生。高空槽对热带气旋、西南低涡等低值系统移动方向起到引导作用。一般情况下,当 500hPa 高空槽位于  $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$  的区域内,振幅  $\geq 10$  个纬距,南支槽位于  $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 、 $95^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$

的区域内,振幅为 5 个纬距左右。这两种形势都会对广西暴雨的发生产生影响。当高空槽位于关键区  $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $95^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$  时,造成广西暴雨的几率非常大,尤其当其东部地区存在副热带高压时。

## 4 小 结

(1) 利用 Morlet 小波分析方法分析,结果表明广西暴雨变化具有明显的周期变化规律,都具有 2、4、8、14 年周期振荡信号,其中 2 年周期振荡信号最强。暴雨和大暴雨的各周期信号分布的时间区域略有差异。

(2) 广西暴雨和大暴雨变化总趋势为逐渐增多,在 1990 年代进入高峰期。而影响广西的热带气旋有减少的趋势,在最近几年呈负距平。

(3) 影响广西暴雨发生的主要天气系统为热带气旋、西南低涡、低空急流、高空槽,其中热带气旋、西南低涡是广西特大暴雨发生的主要原因。

**致谢:** 特别感谢广西区气象科技服务中心的黄香杏高级工程师对文中天气分析部分的指导。

## 参考文献

- [1] 郑传新,周军. 盛夏影响广西的两类台风暴雨对比分析[J]. 气象,2003,29(10):13-16.
- [2] Gu Dahang and Phiander. Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century[J]. J of Climate,1995,8(4):864-876.
- [3] 顾薇,李崇银,杨辉. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析[J]. 气象学报,2005,63(10):728-739.
- [4] 程胜,李崇银. 北半球冬半年平流层大气低频振荡特征的研究[J]. 大气科学,2006,30(7):660-670.
- [5] 沈锦花,胡波. 浙江省近 534 年旱涝发生规律及突变分析[J]. 气象,2005,31(10):76-78.
- [6] 吴洪宝,吴蕾. 气候变率诊断和预测方法[M]. 北京:气象出版社,2005:208-244.
- [7] 张京英,漆梁波,王庆华. 用雷达风廓线产品分析一次暴雨与低空急流的关系[J]. 气象,2005,31(12).
- [8] 刘国忠,丁治英,贾显锋,等. 影响华南地区西南低涡及致洪低涡活动的统计研究[J]. 气象,2007,33(1):45-50.