

# 广西夏季对流云降水特征分析

张瑞波 陈博杰 钟小英

(广西壮族自治区人工降雨办公室, 南宁 530022)

## 提 要

利用广西 93 个站的 10 年地面雨量资料和南宁 714SD 雷达资料, 分析了广西夏季对流云降水的分布特征和物理特征。从分布特征看, 广西夏季对流云降水分布不均匀, 具有随地域、时间、昼夜而变化的特征。采用雷达回波资料计算、分析了夏季对流云的回波特征、降水规律, 并计算了  $Z-I$  关系。

**关键词:** 对流云 降水 雷达资料

## 引 言

对于南方夏季对流云降水问题的研究, 我国南方各省的学者做了许多探索。吴必文等计算了安徽省夏季大气中的水汽分布<sup>[1]</sup>; 周益辉等作了南方夏季人工增雨的天气条件和潜力区分析<sup>[2]</sup>; 蒋年冲、白卡娃等分别采用统计和物理检验方法进行增雨作业效果分析<sup>[3,4]</sup>。为了摸清广西夏季(7~9月)对流云的降水规律, 以便为夏季人工增雨作业提供准确的气候背景和科学实施作业, 本文利用广西地面降水资料和气象雷达回波资料, 对对流云降水时空分布特征和物理特征作初步分析。

## 1 资料来源

资料来源于:a、广西 93 个气象站在气表 I 中记录的 1992~2001 年 7~9 月份逐日的 08 和 20 时地面阵性降水资料;b、2003 年 7 月南宁 714SD 气象数字化雷达所探测的 144 份回波资料(低仰角)和从采样站点自记雨量仪记录的 10min 雨量。

## 2 广西夏季对流云降水量的特征分析

### 2.1 夏季(7~9月)对流云降水总量分析

7 月份对流云降水总量分布不均匀(见图 1a), 最大雨量分布在沿海地区, 达 500mm 以上; 最小雨量不到 150mm, 主要分布在桂林地区东部; 雨量次多的地方分布在柳州地

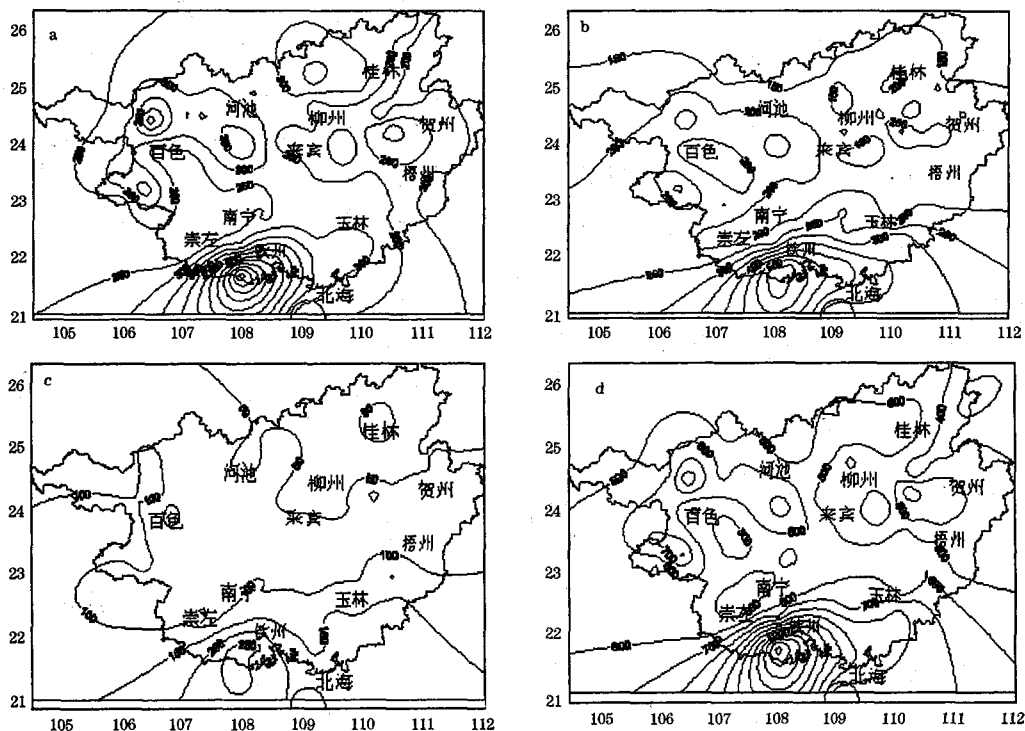


图1 广西夏季对流云降水总量分布图

(a. 7月, b. 8月, c. 9月, d. 7~9月)

区北部、河池地区西部和南部;雨量次少的地方主要分布在梧州、贺州、来宾、崇左。

8月份对流云降水总量呈现出较明显的南多北少的特点(见图1b),最多雨量分布在沿海地区,月平均雨量达400mm以上;雨量最少分布在桂林东部,来宾、柳州、河池的个别县市,雨量在150mm以下;其余大部地区的雨量在150~300mm之间。

9月份对流云降水总量分布呈南多北少的特点更加分明(见图1c),沿海地区达150mm以上,桂林、柳州、河池等地区不到50mm,其余大部分地区的雨量在50~150mm之间。

7~9月份对流云降雨总量分布如图1(d)所示,全区降雨总量分布大部地区都在550mm以上,沿海地区超过1000mm,雨量最少在桂林、贺州、梧州等市的东部县市,雨量一般在400mm以下。

夏季对流云降水的时空分布不均,是由地形和大气环流影响造成的。降水量地域性(空间)分布不均,夏季风的迎风坡多,背风坡少;丘陵山区多,河谷平原少<sup>[5]</sup>。如降水量最多的东兴至钦州一带,位于十万大山东南侧,南来的暖湿气流沿山坡抬升,湿绝热冷却成云致雨;同时该地区处于南来的低值天气系统前部,低值天气系统与十万大山相遇所产生的抬升作用,使辐合上升气流增强,造成该地区的多雨。

大气环流的变化对7~9月份对流云降水总量的分布也产生重要影响。夏季副热带高压向北移动到最北的位置,副高脊线平均位于27~32°N,广西处于副高南侧。由前汛期的西风带系统转受东风带系统影响,台风、赤道辐合带、东风波等热带影响系统增多,尤其是沿海地区每年平均受到4~5个台风影响,带来大量的对流降水,这是沿海地区雨量

偏多的主要原因。

7~9月份除了台风等热带系统影响广西外,西南低涡也是影响广西的另一个主要系统。此时当大气环流偏离正常状态,华北低槽或高原东部低槽发展东移加深,副高偏离正常位置而回落到南海,是西南低涡形成的有利环流背景,每年平均有2~3个西南低涡影响广西,造成的暴雨落区主要在桂北、桂西,这是桂西北和柳州北部次雨量中心的原因之一。

## 2.2 夏季对流云降水的昼夜分布

由对流云总雨量的昼夜分布(图略)可看出,白天(08~20时)的总雨量分布大体是桂西北多、桂东少。桂西北可达300mm以上,而桂东地区一般不足150mm;夜间(20~08时)的分布则是桂南多,桂北少,沿海和钦州、玉林南部等桂南地区夏季年均雨量可达400mm以上,而桂林、柳州、河池、百色等地区的总雨量都在300mm以下。白天的总雨量与夜间相比,前者比后者少3~8成。

夏季对流云白天和夜间降水天数分布(图略)与总雨量的昼夜分布类似。白天降水天数呈现出桂西多、桂东少的特点,百色、河池地区白天降水日数一般在30天以上,而其余地区的白天降水日数一般只有20多天;夜间降水天数分布则呈现出桂南多、桂北少的特点,沿海地区、钦州、玉林南部的夜间降水日数可达40天以上,而桂林、柳州等地区一般只有30多天。

造成上述分布的原因可能是白天桂西常处于副热带高压边缘,桂东常处于副热带控制之下,从南海输送上来的暖湿气流沿副高边缘北上,容易在桂西成云致雨。而进入夜间后,沿海地区的潮湿空气易形成对流发展,从而使夜间降水总量和降水天数分布均呈现桂南多、桂北少的特点。

## 2.3 季总雨量逐年变化

图2是南宁、桂林、河池、柳州、百色、梧

州、北海等7市1992~2001年夏季对流云总降水量逐年变化趋势图。由图可见,7市的总降水量年变化趋势基本一致,雨量最多分布在北海,即沿海地区。年均变化趋势最大的是北海,最少只有500mm,最大超过1600mm。其余地市年均变化在300~1000mm之间。

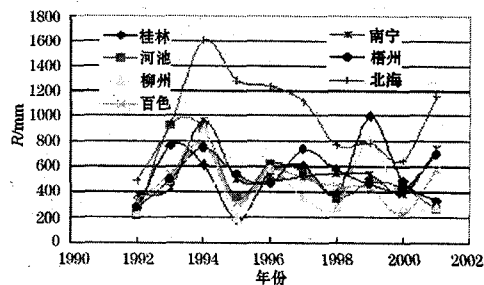


图2 南宁等7市夏季对流云降水总量逐年分布图  
从时间周期看,这7市总雨量的变化具有2~6年不等的周期。

## 2.4 各级降水频数

广西年均降小雨、中雨、大雨、暴雨的频数(图3)依次减少,以百色市为例,年均降小雨、中雨、大雨、暴雨的频数分别是47、10、4、2。从分布看,全区降小雨频数大体相差不大,绝大部分县市都在40天以上,河池、百色、崇左等市西部稍多,可达50天以上;降中雨、大雨频数的分布特点是,以河池、来宾、贵港、玉林市连线为界,西部地区比东部地区大,降中雨频数西部地区一般在10天以上,东部在10天以下;降大雨频数西部达6天以上,东部则在6天以下。降暴雨的频数分布比较均匀,各县站基本上是1~2天。

## 3 夏季对流云的物理特征

广西本地的对流云回波可分为对流单体、多对流单体、超级对流单体等种类。一个完整的对流单体的生命史一般可分为生成、发展、成熟、消亡等4个阶段,经历由淡积云→浓积云→积雨云的演化过程,持续几十分钟至2小时。统计发现,夏季受天气系统影响而生成对流云回波绝大部分呈现多对流

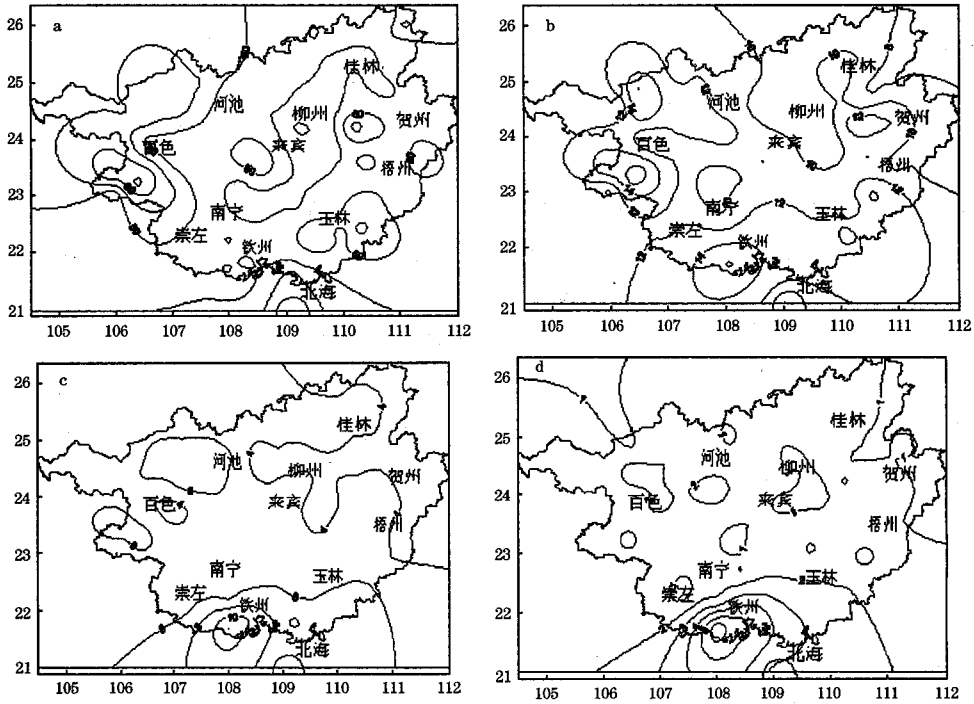


图3 广西夏季对流云降水日数  
(a.小雨, b.中雨, c.大雨, d.暴雨)

单体特征。由于高温、高湿,大气中具有较强的不稳定能量,一旦受天气系统激发而导致不稳定能量释放,往往能持续较长的时间,一个单体消亡后又有新的单体生成和补充,造成较强地面降水。如2004年6月14日晚受高空槽、切变线和地面弱冷锋的共同影响,从22时起在桂南开始出现对流回波,随着系统的东移,不断有单体消亡和生成(图略),一直持续到次日上午11时。图4是当日系统经

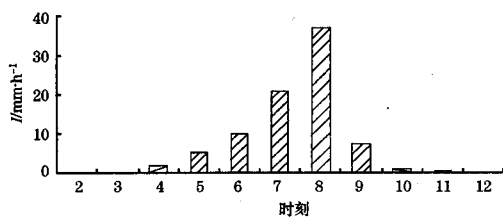


图4 2004年6月15日南宁地面站(59431)雨强变化图

过南宁地面站时多对流单体所产生的降水情况,可以清楚地反映对流云降水强度的演变

趋势。

统计南宁雷达PPI资料发现,大多数夏季系统性对流云的个体回波在发展初期呈现聚合特征。个体回波水平尺度一般从几千米至数十千米,由数个分散的回波体组成“回波群”。多数回波体由许多尺度更小的“回波团”聚合而成。随着系统的发展,这些“回波群”的聚合往往有进一步加强的趋势。

统计7~9月份南宁雷达的RHI表明,处于生成阶段的单体回波,其顶高为3~4km,强度25~30dBz;处于发展阶段的单体,回波顶高4~6km,强度30~35dBz;成熟阶段的强单体,回波顶高9~16km,强度40~55dBz;进入消亡阶段时,虽然回波顶高仍较高,但是强度却迅速减弱,随后单体分裂、崩塌。

有文献表明,对于冷云降水而言,最佳的催化条件是在对流云的云顶温度发展到自然

冰晶化之前,在过冷层中播撒成冰催化剂<sup>[6]</sup>。7~9月份广西卷云出现的高度一般在9km,因此可视其为催化作业云的最佳临界高度。表1是南宁雷达探测到夏季对流云云顶高度出现的频率(样本334个),从中可知,有超过六成的强回波顶高超过9km,云中已有自然冰晶化发生,只有不到四成的强回波顶高低于9km,这个高度正是浓积云向积雨云过渡和积雨云形成的初始阶段,对其实施人工催化可取得较好的增雨效果。

表1 夏季对流云的雷达回波特征

回波顶高 $h/\text{km}$	频率/%	强度/dBz
$h < 6$	9	<35
$6 \leq h < 9$	27	35~40
$9 \leq h < 12$	49	40~50
$h \geq 12$	15	>50

冷暖层厚度可反映对流云发展的环境条件,其中的液态水含量(LWC)反映了人工增雨的潜力。雷达观测发现,本地对流云降水既有暖云降水机制,又有冷云降水机制,但更多的情况是二者兼有。对于冷云而言,激发降水(自然或人工的)首先从冰晶的生长开始。当云滴随上升气流上升越过0℃层后变成过冷水,成为冰晶生长的“源泉”。冰晶在过冷层中通过 Bergeron 过程增长,增长到上升气流承受不住时降落。过冷层越厚,含水量越大,越有利于冰晶的增长。当大冰晶降落到暖层时开始融化,然后通过碰并机制使降水粒子长大,降水粒子落到云外时水汽又开始蒸发。暖层厚度越大,云底高度越低,越有利于降水的形成。根据南宁714雷达强回波RHI的统计(表2),强回波的冷暖层厚度比大于1的占62%,冷层平均厚度大于5km,说明了冷云机制的重要性的冷云对降水的贡献。

许多国家的试验表明,雷达观测值在近距离与雨量计测值有较好的一致性<sup>[7]</sup>,因此可以采用雷达观测来反演降水。某一时刻的

表2 夏季对流云的冷暖层厚度统计

冷暖层厚度比/R	频率/%	冷层平均厚度/km
$R < 0.5$	12	1.3
$0.5 \leq R < 1$	25	3.1
$1 \leq R < 2$	33	5.2
$R > 2$	29	8.5

降水强度由降水云体中的降水粒子大小、浓度、雨滴落速决定,而在雷达探测中,雷达反射因子的大小由降水粒子的大小、浓度分布决定。根据雷达气象方程:

$$P_r = cZ/r^2, \quad Z = \sum N_i D_i^6$$

$P_r$  为回波强度,  $c$  为与雷达性能、云雨粒子折射指数等有关的参数,此处  $c = 92.6$ ,  $r$  为目标物到雷达的距离,  $Z$  为雷达反射因子,  $N_i$  为直径为  $D_i$  的粒子浓度。

设  $Z = aI^b$ ,  $I$  为雨强,则:

$$P_r = 92.6aI^b/r^2。$$

根据南宁714SD数字化雷达(波长10cm)的CAPPI探测和探测点的自记雨量资料,采用最小二乘法求出  $a = 1237$ ,  $b = 1.22$ ,即建立了以下的  $Z-I$  关系:  $Z = 1237I^{1.22}$ ,其中相关系数  $r = 0.8231$ ,对  $r$  进行  $t$  检验,  $t > t_{0.001}$ 。

国外学者得出的  $a$ 、 $b$  参数变化都很大<sup>[9]</sup>,广西夏季对流云的  $b$  值偏小,后者反映的只是对流较弱时的情况。

#### 4 结论

(1)广西夏季对流云降水时空分布不均匀,大部分地区总雨量达500mm以上,沿海地区达1000mm以上,最少分布在桂东一带,雨量在400mm以下。

(2)广西夏季对流云昼夜差别较大,降水总量和降水天数的分布特点是:白天桂西多,桂东少;夜间桂南多,桂北少。

(3)除北海外,广西各地区夏季对流云降水总量的逐年变化的幅度基本相似。

(4)由于同时具有冷云和暖云降水机制,

表3 国内外学者得出的  $a$ 、 $b$  参数比较 ( $Z-I$  关系表:  $Z = aI^b$ )

作者	$a$	$b$	地点	降雨类型	降雨率/ $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$
Wexler(1948)	214	1.58	哥伦比亚特区华盛顿		0.37~114
Marshall 和 Palmer	200	1.60	渥太华		0.15~35
Best(1950)	505	1.44	Shoeburyness		0.18~4.2
	257	1.45	Ynyslas		0.36~8.9
	436	1.64	East Hill		0.41~25.1
Blanchard(1953)	31	1.71	夏威夷	地形雨	1.00~20.8
Twomey(1953b)	127	2.29	悉尼		0.2~9.0
Jones(1956)	358	1.36	伊利诺斯	大阵雨	
	486	1.37	伊利诺斯	雷暴	
Andrews(1961)	204	1.52		连续性阵雨	0.07~6.3
Xu Yong Sheng 等	304	1.3	中国长沙		0.5~20.2
Zhang Rui Bo 等	1237	1.22	中国南宁		0.6~12.8

因此实施人工增雨作业除了可使用冷云催化剂外,也可探讨使用暖云催化剂,在选择作业时机时应把握对流云处在发展阶段上,才能取得理想的催化效果。

#### 参考文献

- 1 吴必文,时珍玲.安徽省夏季空中水资源气候分析.气象,2002,28(增刊):50~52.
- 2 周益辉,雷光平,唐林.中国南方夏秋干旱期间有利于人工增雨的天气条件和潜力区初步分析.气象,2002,28(增刊):28~31.
- 3 蒋年冲,申宜运.安徽省人工增雨效果评价研究.气象,2002,28(增刊):48~49.
- 4 白卡娃.我国南方夏季人工增雨效果评估.气象,2002,28(增刊):38~42.
- 5 蒙远文,蒋伯仁,韦相轩等.广西天气及其预报,北京:气象出版社,1989:3.
- 6 胡志晋,郭恩明,张纪淮等译.人工影响大气过程的物理基础.气象出版社,1994:200.
- 7 张培昌,戴铁丕,傅德胜等.用变分方法校准数字化天气雷达测定区域降水量基本原理和精度.大气科学,1992,16(2):248~256.
- 8 Mason.云物理学.北京:气象出版社,1986:500.

## Analysis of Summer Convective Precipitation in Guangxi Province

Zhang Ruibo Chen Bojie Zhong Xiaoying

(Guangxi Weather Modification Office, Nanning 530022)

#### Abstract

Based on the surface rainfall data of 93 stations of Guangxi Province and the 714SD radar data in Nanning, the distribution characteristics and the physical characteristics of summer convective precipitation in Guangxi are analysed. It indicates that the distribution of summer convective precipitation is ununiformed and varied for regions, and time. The echo characteristics and the precipitation rule are analysed by using the echo data, as well as the  $Z-I$  relation is calculated.

**Key Words:** convective cloud precipitation distribution