

广州地区1984年6月小阵雨的微物理结构*

吴 兑

(广东省热带海洋气象研究所)

提 要

本文分析了广州1984年小阵雨的雨滴谱分布。指出该地区小阵雨谱型以Ⅲ型谱(多峰谱)居多,不出现Ⅰ型谱(无峰谱)。滴浓度较小而平均尺度较大,最大滴直径达6.5mm。最突出的特点是起始直径较大,小滴明显不足而大滴较多,用指数谱描述不甚理想。

此外发现, W - I 关系较 Z - I 关系的地区变异小得多;该地小阵雨的 W - I , Z - I 关系可分别表示为:

$$W = 0.0569 I^{0.58},$$

$$Z = 345 I^{1.39}$$

一、引 言

雨滴是降水云中一系列云物理活动的产物。60年代初,国内对山岳地带的雨滴谱特征进行过研究;70年代末至今,又分别对东北平原、长江流域、西北高原等地雨的微结构进行了观测、探讨,得到不少有益的结果。本文试图对小阵雨的雨滴微结构特征作些分析,从一个侧面探讨广州地区积云降水的特点。

广州地处岭南,濒临南海,水汽丰沛、潮湿多雨,平均年雨量1600—1700mm。我们对广州地区南海、鹤山、番禺三站1984年6月的973份小阵雨雨滴谱资料进行分析,讨论了谱型特征,各参数分布结构;雷达反射因子与雨强、含水量与雨强、浓度与滴直径间的关系。

二、资料处理

地面雨滴谱按照滤纸色斑法观测^[1],时间间隔1—2分钟。讨论的雨滴直径范围为0.1—6.5mm。为了讨论方便,我们将日间

(08—20时)降雨量小于10mm且每次不大于5mm的对流云降水分为三类即:

A: 日间雨量微量,每次微量,

B: 日间雨量小于5mm,每次微量,

C: 日间雨量小于10mm,每次小于5mm。

并选取了一组日间雨量在10—30mm间,每次不大于5mm的对流云降水作为对照,称D类。

三、广州地区6月小阵雨的气候特点

珠江三角洲地区多年平均年雨量有两个峰值,分别出现在5月与8月。参加雨滴谱观测的三个站1984年6月日间雨量占56.9%至58.0%,较夜间雨量多,与有些地方夜雨多的情况不同^[2]。

从表1可见,1984年6月该地区雨日为25—27天,日间雨量小于5mm的占雨日的2/3左右。本文分析的雨滴谱资料属于25个雨日

*本文是“珠江三角洲夏季积云降水的客观估计”课题的一部分,课题负责人周克铭,先后参加观测和试验的还有何应昌、陈位超、关越坚、甘春玲、毛伟康、游积平、叶成法、林良才、林照洪、邱洪、赖沛权、张森才、阳继宏、刘传营等同志。

表1 日间各雨量等级出现频率(天)

台 站	<0.1 mm	0.1—5 mm	5—10 mm	10—20 mm	>20 mm	总雨日
南海	7	7	3	4	4	25
鹤山	7	9	3	3	5	27
番禺	6	11	3	4	1	25

(三站合计)的40次小阵雨,占该月总雨日的31.3%,但其雨量仅占全月日间雨量的12.1%。

四、小阵雨的地面雨滴谱特征

经分析,广州地区三个站的小阵雨雨滴谱特征间无大的差别(表略)。故以南海为例,将观测结果列于表2。我们看到雨滴浓

表2 南海6月各类小阵雨雨滴谱特征

类别	日间雨量 mm	每次雨量 mm	观测次数	$\bar{N}$ 个/ m^3	N_{max} 个/ m^3	$\bar{N}_{>1mm}$ 个/ m^3	$\bar{D}$ mm	$\sqrt{\bar{D}^2}$ mm	$\sqrt[3]{\bar{D}^3}$ mm	$\bar{I}$ mm/m	$\bar{Z}$ mm ⁶ / m^3	$\bar{W}$ g/ m^3	D_{max} mm
A	<0.1	<0.1	60	33.5	172.3	11.0	0.99	1.05	1.12	0.58	323	0.03	3.5
B	0.1—5	<0.1	34	70.2	185.1	27.5	1.04	1.09	1.12	1.06	525	0.06	3.7
C	0.1—10	0.1—5	316	169.9	3112.9	73.4	1.11	1.18	1.25	4.49	3993	0.21	6.5
平均	<10	<5	410	141.7	3112.9	60.5	1.10	1.17	1.24	3.65	3167	0.17	6.5
D	10—30	<5	45	763.2	4246.2	118.0	0.75	0.84	0.96	7.69	5844	0.39	5.1

度 N ,雨强 I ,雷达反射因子 Z 和含水量 W 均随着降水量的增加而增大。在A、B、C三类中,滴平均直径 $\bar{D}$,均方根直径 $\sqrt{\bar{D}^2}$,均立方根直径 $\sqrt[3]{\bar{D}^3}$ 也是随雨量增加而加大,最大滴直径从A、B类的3.5—3.7mm增大到C类的6.5mm,估计前者雨滴增长路径较短,未长到足够大;而后者则可以长到雨滴破碎尺度。 D 类小阵雨滴浓度成倍增加,小滴数量增加最多,导致滴平均尺度变小,但含水量、雨强、雷达反射因子均增大。

南海雨滴浓度出现频率列于表3,可以发现A、B类的雨滴浓度都很小,均小于300个/ m^3 。而C类的情况就不同,在浓度较大的各档都有机会出现。 D 类滴的数密度大大增加,500个/ m^3 以上的机会就占样品的54%,而小浓度出现机会很少,仅有9%的情况不足100个/ m^3 。

表4说明A、B类最大滴都不大,小于4mm。而C类最大滴可达6mm以上,5mm以上的出现机会,以D类小阵雨为最多。

表5给出南海各类瞬时雨强出现的频率。

表3 南海雨滴浓度出现频率

类别	N个/ m^3					
	0—100	101—300	301—500	501—700	701—1000	>1000
A	97.0	3.0	—	—	—	—
B	65.0	35.0	—	—	—	—
C	48.0	39.0	8.0	2.0	2.0	1.0
D	9.0	16.0	21.0	18.0	20.0	16.0

表4 南海最大滴直径出现频率(%)

类别	D_{max} mm						
	0.1—0.9	1.0—1.9	2.0—2.9	3.0—3.9	4.0—4.9	5.0—5.9	>6.0
A	5.0	23.0	52.0	20.0	—	—	—
B	—	59.0	32.0	9.0	—	—	—
C	2.0	29.0	42.0	21.0	5.0	0.5	0.5
D	7.0	38.0	38.0	13.0	2.0	2.0	—

从表中可以看出:

1) A类雨强主要集中在1mm/hr以下,没有出现3mm/hr以上的雨强;

2) B类主要集中在0.2—3mm/hr间,没

表5 南海瞬时雨强出现的频率(%)

$I_{mm/hr}$ 类别	0.0— 0.1	0.2— 1.0	1.1— 3.0	3.1— 10.0	10.1— 25.0	25.1— 70.0
A	25	61	14	—	—	—
B	15	47	32	6	—	—
C	10	25	34	17	11	3
D	7	23	13	32	19	6

表6 广州地区雨滴谱谱型与背景资料

类别	0℃层 m	出现频率、%								个例数
		Cb	Cu	Ci	雷雨	阵雨	I型谱	II型谱	III型谱	
A	5100—5700	57.1	42.9	28.6	57.1	42.9	—	30.3	69.7	122
B	4800—5600	100.0	—	57.1	71.4	28.6	—	48.9	51.1	88
C	4800—5700	88.9	11.1	48.1	74.1	25.9	—	31.5	68.5	763
D	5100—5500	100.0	—	60.0	40.0	60.0	—	37.8	62.2	119

表7 广州地区雨滴谱起始直径出现频率 (%)

起始直径 mm 类别	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	2.1	≥2.3
A、B	11.0	49.5	27.1	8.1	3.3	1.0	—	—	—
C	5.1	35.1	40.4	12.7	5.4	0.7	—	0.3	0.3
D	19.3	61.3	17.6	0.9	0.9	—	—	—	—

降水回波顶刚抵0℃层（一般回波顶高6.6—7.7km），且一半例子降水来自浓积云；有近一半例子未出现雷电现象，估计这部分降水主要由暖雨过程形成。

将各类型雨滴起始直径出现频率列于表7，我们看到一个很有意思的现象。即该地区小阵雨的起始直径比较大，A、B类最多出现在0.3mm处，C类最多出现在0.5mm处，D类最多出现在0.3mm处。A、B、C类的起始直径均可出现1.1mm的情况，甚至达到2.3mm以上，存在小滴不足或根本没有

有出现10mm/hr以上的雨强；

3)C类和D类中，各档雨强均可出现，D类大于3mm/hr的雨强占57%。

从广州地区雨滴谱谱型统计（表6）看到，无论哪类小阵雨均不出现I型谱（无峰谱），而且均以II型谱（多峰谱）居多。除A类外，其它三类降水主要来自积雨云，观测时区域内雷达回波高度一般在6—12km间，故不能排除降水的冰相增长过程。A类

小滴的现象。60年代初在我国泰山、南岳也曾观测到类似的现象^{[3][4]}。

将广州地区小阵雨的雨滴谱特征与国内不同地区各类降雨的结果对比一下，列于表8。总的来看，广州小阵雨滴浓度较低，与泰山雷雨相当，较北方层状云降雨与各地暴雨的浓度小得多；但它的尺度比较大，平均直径与最大滴直径均大于北方层状云降雨和各地暴雨，但小于泰山雷雨；雨强大于北方层状云降雨而小于各地暴雨，与南岳、泰山降雨相当。含水量大于北方层状云降雨，小

表 8 不同地区各类降雨的雨滴谱特征

雨 系	时 间	$\bar{N}$ 个/ m^3	$\bar{D}$ mm	$\bar{D}_{max}$ mm	$\bar{R}$ mm/hr	$\bar{W}$ g/ m^3
广州小阵雨	1984年 6 月	143	1.07	6.7	3.7	0.17
南岳阵雨 ^[4]	1962年 5 月				5.2	
泰山阵雨 ^[4]	1962年7—8月				4.0	0.37
泰山雷雨 ^[3]	1962年 7 月	115		7.3	10.6	0.14
吉林层状云降雨 ¹⁾	1979—1980年 5—7月	394				
宁夏层状云降雨 ²⁾	1984年 6 月	320	0.61	5.2	0.8	0.06
安徽梅雨锋暴雨 ^[5]	1983年 6 月	438	0.90	6.3	9.5	2.19
吉林层状云暴雨 ¹⁾	1981年 7 月	544		4.2	5.6	0.29
宁夏河套锢囚锋暴雨 ^[6]	1983年 6 月	563	0.60	4.8	4.6	0.21

于泰山雷雨和各地暴雨的含水量。

五、小阵雨的Z-I及W-I关系讨论

雷达反射因子Z与雨强I之间一般存在着 $Z = AI^b$ 的指数关系,这个关系式是雷达定量测量区域降水所必须考虑的。我们计算了广州地区各类小阵雨的Z-I关系如表9(图略)。我们看到 $\log Z$ 与 $\log I$ 的相关系数 r 均在0.95以上,剩余标准差 S 不超过0.32,说明广州地区6月份小阵雨用 $\log Z$ 与 $\log I$ 配置回归线比较合理。将其与国内其它地区的结果对比(表10,图略),发现阵性降水的Z-I关系在地区间存在相当大的差别,估计Z-I关系的变异可能与降雨的不同成雨机制有关。

表 9 广州小阵雨的Z-I关系

类别	个例	A	b	r	S
A—B	210	305.6	1.34	0.9773	0.2676
C	763	345.3	1.39	0.9543	0.2925
D	119	264.4	1.53	0.9503	0.3198

统计了含水量W与雨强I的关系(表11,图略)。我们看到该地区小阵雨配置 $W = AI^b$ 的关系式比较理想,相关系数均优于0.98,剩余标准差仅0.08—0.095。A—B与C类小阵雨的W-I关系较相似,而与对照组D类有差别。与南岳及泰山的关系相比较,发现W-I关系的地区变异比Z-I关系小得多。

表10 各地对流云降水的Z-I关系

省 区	广 东	泰山 ^[3]	湖南 ^[7]	安徽 ^[7]	江苏 ^[8]	宁夏 ^[9]	北京 ^[10]
个例	763	77		41		672	
A	345	376	291	274	357	509	316
b	1.39	1.39	1.54	1.64	1.34	1.35	1.78

1) 陈德林等,层状云暴雨雨滴谱分析,(吉)科技报告,1982年第3期。

2) 陈玉山等,一次低涡降水天气的雨滴谱分析,宁夏气象,1985年第1期。

表11 广州小降雨的W-I关系

类别	个例	A	b	r	S
A—B	210	0.0589	0.88	0.9938	0.0906
C	763	0.0569	0.88	0.9904	0.0822
D	119	0.0639	0.83	0.9842	0.0955
南岳降雨 ^[3]		0.0522	0.88		
泰山雷雨 ^[3]		0.0151	0.93		

六、小降雨雨滴谱的谱型特征

一般来讲雨滴谱序列的平均谱可表为较规则的指数谱, 尤其中纬度典型系统性降水的雨滴谱序列的平均谱接近于 $M-P$ 谱。而大多认为雷雨、阵雨的雨滴谱序列不遵从 $M-P$ 分布。低纬地区阵雨的雨滴谱序列到底是怎样分布的呢? 我们以海南为例将雨滴谱序列的平均谱按照:

$$N_i = N_0 e^{-\lambda D^b} \quad (1)$$

$$\text{其中 } \lambda = AI^b \quad (2)$$

的关系进行了回归拟合(表12, 图略), 由于阵雨以Ⅲ型谱居多数, 与 $M-P$ 谱的偏离

表 12 南海小降雨的谱分布

类别	N_0	A	b	r	S
A—B	214.6	1.90	-0.3531	-0.7333	0.1712
C	1219.1	2.91	-0.1349	-0.8113	0.0719
D	5555.4	3.79	-0.2132	-0.6053	0.2205

甚大, 如勉强按指数谱的形式拟合, 其相关系数的绝对值仅高于显著性水平0.001的临界值0.597, 剩余标准差在0.07至0.22间。曲线与以 $M-P$ 谱为代表的中纬度气旋雨的雨滴谱分布有很大不同。主要表现在 N_0 偏低, 分布曲线随着直径增大降低得较缓慢, 说明大滴较多而小滴不足。比如对雨强1mm/hr的微量降水, 3mm的滴可达到1个/ m^3 。

将C类小降雨实测平均谱与拟合曲线绘于图1。我们看到小降雨的实测平均谱与拟

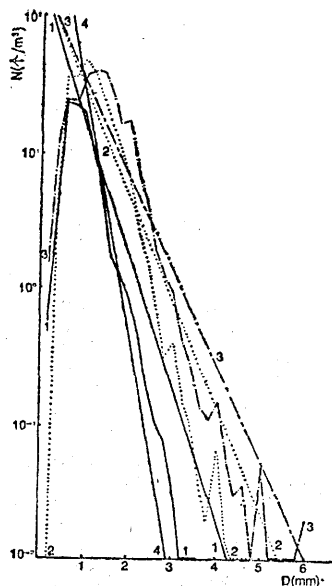


图1 C类小降雨实测平均谱与拟合曲线的对比

合曲线偏离较大。尤其在小滴段, 实测平均谱并非单调下降, 其峰值直径: 1mm/hr时在0.6mm处; 5mm/hr时在1mm处; 10mm/hr时在1.4mm处。峰右下降段也与拟合曲线有较大偏离, 大于3mm段拟合曲线对浓度高估半个量级, 而且在大滴部分, 实测谱出现第二峰值与多峰的情况。这样看来广州地区小降雨雨滴谱序列的平均谱拟合的指数曲线关系, 不能很好地代表实测平均谱分布。

图2给出了一例较有代表性的南海微量

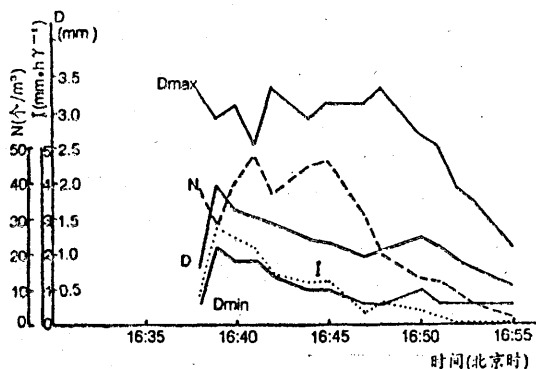


图2 一例降雨微结构的时间序列

降水过程中,雨滴尺度、浓度与雨强随时间的变化。我们看到降雨初期雨滴尺度比较大,但浓度并不是最大;随后滴尺度逐渐变小而浓度增加,雨强虽有减小但仍维持在1mm/hr以上;第7分钟后,浓度很快减小,滴尺度又维持5min少变后也减小,此时谱段最宽;随后雨强迅速减小,到结束时滴尺度、浓度、雨强、谱宽均达极小值。

七、小 结

综上所述,通过对广州地区1984年6月小阵雨雨滴谱的分析,有如下认识。

1. 广州地区1984年6月小阵雨出现机会占总雨日的三分之二,日间雨量多于夜间雨量。

2. 微量降水比C类小阵雨雨滴浓度低,滴平均直径小,最大滴直径仅为3.7mm,因而雨强、含水量、雷达反射因子均小;似以暖雨增长中碰并过程起主要作用,但未及长到雨滴的破碎上限即落出云外。而C、D类小阵雨最大滴可达6.5mm,可能有大滴破碎增殖过程。

3. 随着雨量增加滴的浓度是增加的,滴的尺度也在加大,导致雨强增大。雨滴谱型以Ⅲ型谱(多峰谱)为主。不出现Ⅰ型谱(无峰谱)。

4. 该地小阵雨雨滴浓度低于北方层状云降雨及各地暴雨,与泰山雷雨相当;尺度大于北方层状云降雨与各地暴雨,而小于泰山雷雨;含水量、雨强大于北方层状云降雨,小于泰山雷雨和各地暴雨。

5. 该地小阵雨雨滴谱起始直径较大,小滴部分明显不足而大滴较多,起始直径有60%大于0.5mm。

6. 小阵雨出现时,区域内回波一般顶

高为6—12km,零度层高度在4800—5700m间;估计降水主要由暖雨过程增长,不排除冰相过程的存在。其瞬时雨强较大,但降水时间较短。

7. 广州地区小阵雨的Z-I关系可用 $Z = 345I^{1.30}$ 来描述。W-I关系非常密切,可由 $W = 0.0569I^{0.88}$ 来描述。而且后者的地区变异比前者小得多。

8. 小阵雨序列的平均谱试用指数谱拟合,并与实测平均谱对比后发现,拟合的曲线小滴段高估甚多,达半个量级以上;而实测平均谱在大滴部分尚有第二峰值或多峰现象。故而广州地区小阵雨雨滴谱序列的平均谱用 $N_i = N_0 e^{-\lambda D_i}$, $\lambda = AI^b$ 的指数形式来描述不一定合适。

致谢:梁成礼同志对本文提出了修改意见;陈位超,甘春玲同志提供雨滴谱资料。谨致谢意。

参 考 文 献

- (1) 何珍珍,吸水纸上雨滴斑迹放大系数的测定,我国云雾降水微物理特征的研究,科学出版社,1965。
- (2) 陈世训,中国的气候,商务印书馆,1959。
- (3) 阮忠家,泰山两次雷雨云降水微结构的一些特征,同(1)。
- (4) 戎佩英等,南岳和泰山雷雨与阵雨微结构的对比分析,同(1)。
- (5) 蒋年冲等,梅雨锋暴雨的雨滴谱分析,气象, Vol. 12, No. 5, 1986。
- (6) 吴兑,宁夏一次暴雨的地面雨滴谱和雷达反射因子的对比分析,高原气象, Vol. 6, No. 4, 1987。
- (7) 王建初等,不同雨型的Z-I关系及几种误差讨论,南京气象学院学报,1981年第2期。
- (8) 张培昌等,711测雨雷达进行单点降水测量的试验,南京气象学院学报,1981年第2期。
- (9) 吴兑等,宁夏平原不同雨型的Z-I关系研究,气象, Vol. 15, No. 2, 1989。
- (10) 蔡作金等,雷达定量测量降水,气象, Vol. 9, No. 1, 1983。

The micro-structure of rain shower over Guang Zhou area in June of 1984

Wu Dui

(Guangzhou Institute of Tropical Marine Meteorology)

Abstract

In this paper, the drop-size distribution of shower in Guangzhou has been analyzed. The results show that Type 3 spectra appeared with highest frequency and no Type 1 in that area. The average size is larger. The maximum diameter of drops can reach up to 6.5mm. The outstanding features are that the minimum diameter of drops is too large, and there are few small drops but much more larger ones. As a result, it is imperfect to describe the spectra with an exponential function. In addition, the results reveal the areal difference of W-I relationship is much smaller than that of Z-I relationship. In Guangzhou area, W-I and Z-I relationship of shower are expressed respectively as

$$Z = 345I^{1.39}$$

$$W = 0.0569I^{0.88}$$

