

林文, 林长城, 李白良, 等. 登陆台风麦德姆不同部位降水强度及谱特征. 应用气象学报, 2016, 27(2): 239-248.
doi:10.11898/1001-7313.20160212

登陆台风麦德姆不同部位降水强度及谱特征

林文^{1)*} 林长城¹⁾ 李白良²⁾ 郑文君³⁾ 胡伦善⁴⁾ 余永江¹⁾

¹⁾(福建省气象科学研究所, 福州 350001) ²⁾(福建省气象台, 福州 350001)

³⁾(福建省三明市尤溪县气象局, 三明 365114) ⁴⁾(福建省宁德市屏南县气象局, 宁德 352300)

摘 要

利用架设在福建省尤溪站和屏南站的两台 PARSIVEL 第 2 代激光雨滴谱仪对 2014 年 7 月 23—25 日影响福建省的台风麦德姆(1410)进行观测, 尤溪站位于移动路径中轴, 屏南站位于台风强降雨的区域即右侧云系, 观测显示了台风不同部位雨滴谱特征: 台风麦德姆在外围右前侧和后侧以及残留云系出现强降雨, 台风中心为连续性降水, 雨强变化平稳; 台风右侧云系雨滴平均谱谱宽由宽变窄, 小滴数浓度先增后减, 大滴逐渐减少, 移动路径中轴后侧的残留云系出现大滴数浓度和谱宽的突增; 含水量与雨强变化一致, 雨强小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 以大量的小粒子贡献为主, 形状因子 μ 及斜率参数 λ 分布较广; 雨强大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 大滴的贡献随雨强增大而增大, μ 及 λ 均减小; 同时, 可利用 μ 与 λ 线性函数关系对 Gamma 分布进行简化。

关键词: 雨滴谱; 雨强; 台风麦德姆; PARSIVEL

引 言

台风引发的强降水是人们最关心的灾害之一。雨滴谱的观测分析是研究云降水物理特征的一个重要方面。通过对雨滴谱特性的研究, 可深入探索台风内部成云致雨机制。目前, 国内外台风降水量多通过雷达 $Z-R$ 关系进行预估, 如 Petersen 等^[1]、Vieux 等^[2]、Tokay 等^[3] 对不同地区的各类降水建立了相应的 $Z-R$ 关系。Ulbrich 等^[4] 对 2000 年热带风暴 Helene 残留云系降水的雨滴谱进行分析, 通过不同时段 $Z-R$ 关系的巨大差异证明了 $Z-R$ 关系的不稳定性。Tokay 等^[5] 指出, 虽然雷达可从一方面反映空中降水粒子的分布, 但 $Z-R$ 关系的建立还应先以该地区雨滴谱的演变特征研究为基础, 特别是台风降水, 他们利用 2004—2006 年 7 个热带风暴观测到的雨滴谱数据, 研究了雨滴谱各个参数的变化及其对降水的贡献。

国内对台风降水的研究较多, 以多普勒天气雷达观测、诊断分析为主^[6-11]。对台风雨滴谱的研究成果不多, 宫福久等^[12] 利用 CBPP-100 研究北上台风降水演变特征, 对不同量级的雨滴来源进行探讨; Chen 等^[13] 分析台风莫拉克(0908)登陆前后雨滴谱特征及其微物理参量变化, 探讨台风不同部位云体结构的区别。

1 台风麦德姆(1410)概况

2014 年 7 月 18 日凌晨台风麦德姆(1410)在西北太平洋洋面上生成, 沿着 500 hPa 副热带高压西侧东南气流向西北方向移动。23 日 15:30(北京时, 下同)台风麦德姆在福建省福清市高山镇登陆(图 1), 登陆时中心附近最大风力 11 级($30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。登陆前及登陆时(图 2a、图 2b), 主要受台风环流影响产生降水, 台风前进方向右侧, 即闽东地区由于低层偏东气流及地形抬升共同作用下雨量较强。登陆

2015-03-19 收到, 2015-11-10 收到再改稿。

资助项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406033), 华东区域气象科技协同创新基金合作项目(QYHZ201406), 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015M46), 福建省气象局开放式气象科学研究基金项目(2013K03)

* email: donnakoon@foxmail.com

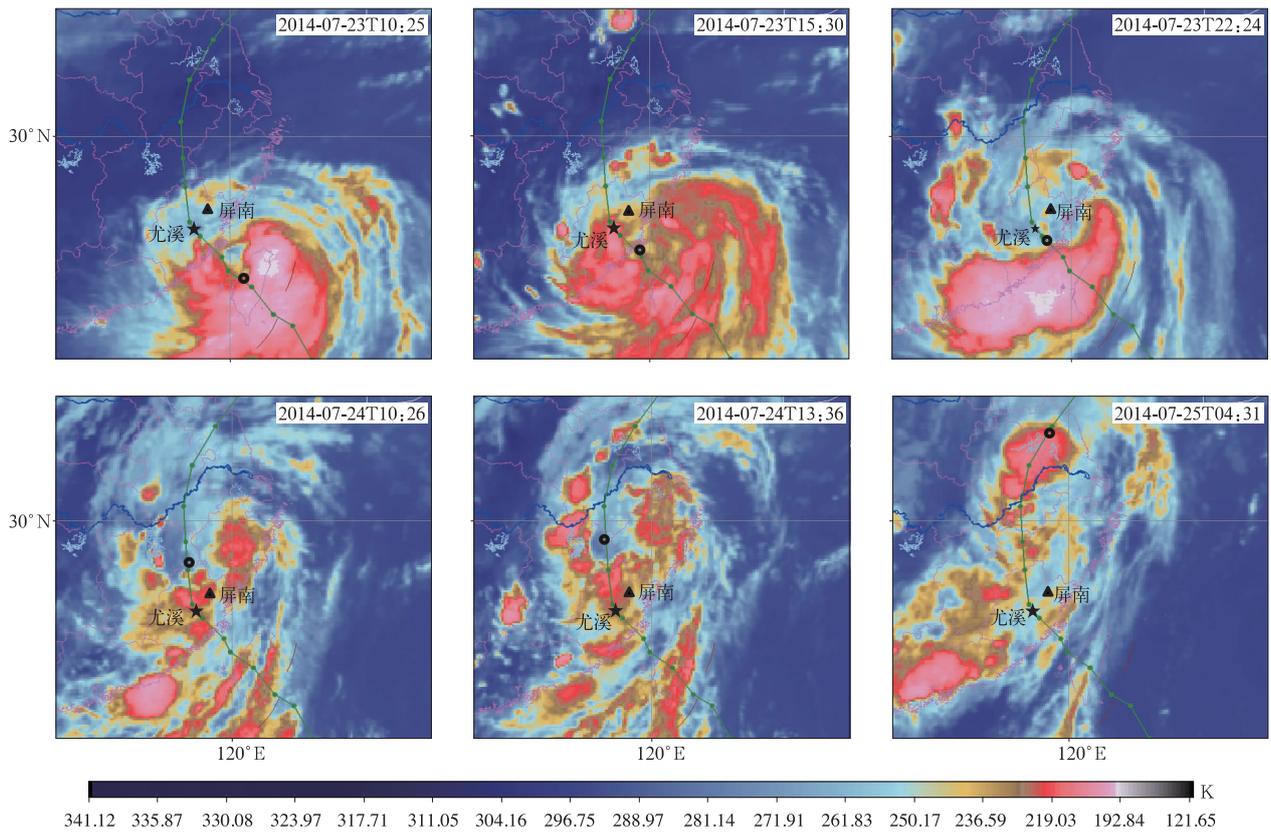


图 1 台风麦德姆移动路径及 FY-2D 卫星红外通道图像(圆圈为台风中心)
 Fig. 1 The moving path and FY-2D satellite infrared data of Typhoon Matmo
 (the circle denotes the center of Matmo)

后台风继续向西北方向移动,24 日 00:00—01:00 经过尤溪,中心气压 988 hPa,近中心最大风力 10 级($25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。随后台风麦德姆转偏北方向移动又经过南平、建瓯、建阳,24 日 07:00 台风中心位于

武夷山市境内,中心气压 988 hPa,近中心最大风力 10 级($25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),随着台风移动至内陆,其后部西南气流和东南气流在闽东地区交汇仍有较强的水汽辐合,使残留云系仍带来较强的降水(图 2c、图 2d)。

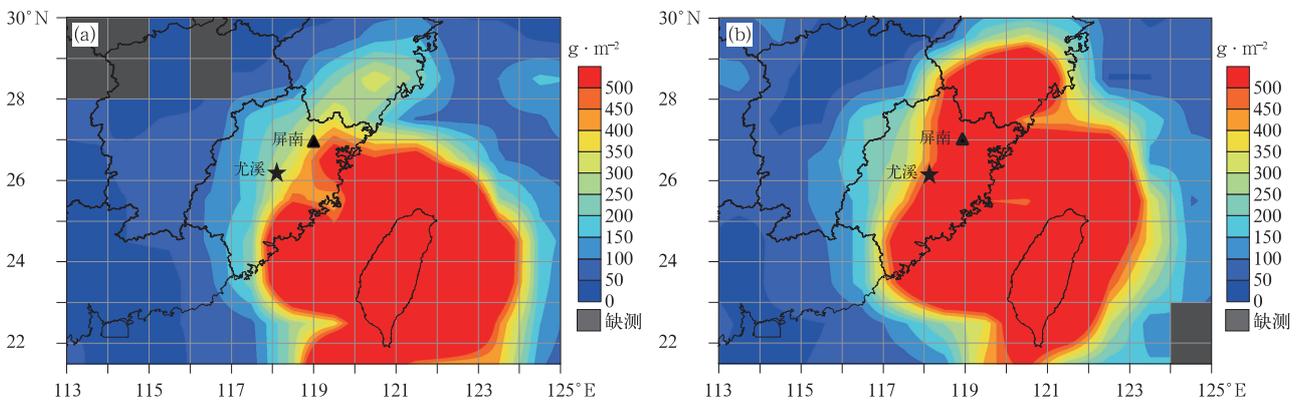
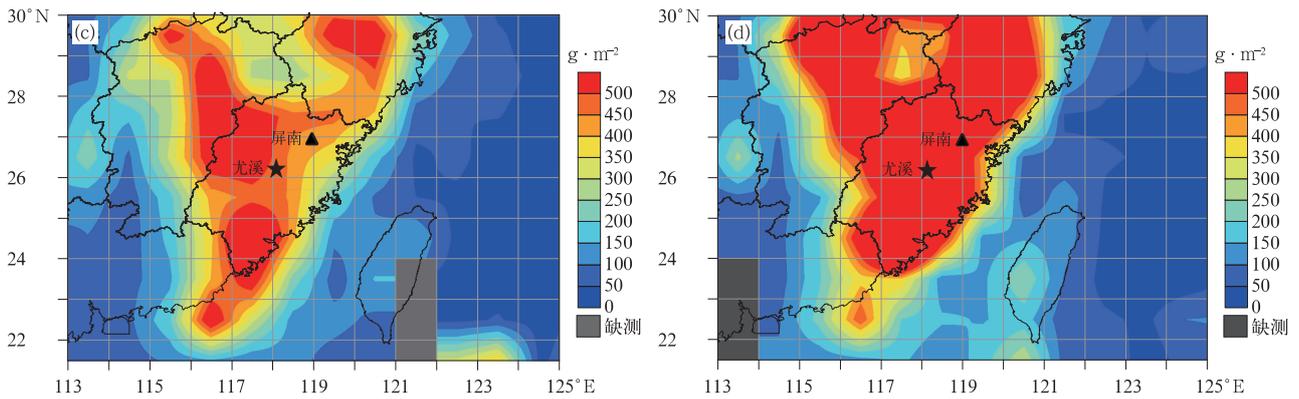


图 2 MODIS 反演云水路径分布
 (a)2014 年 7 月 23 日 10:30,(b)2014 年 7 月 23 日 13:30,(c)2014 年 7 月 24 日 10:30,(d)2014 年 7 月 24 日 13:30
 Fig. 2 Cloud water path of MODIS
 (a)1030 BT 23 Jul 2014,(b)1330 BT 23 Jul 2014,(c)1030 BT 24 Jul 2014,(d)1330 BT 24 Jul 2014



续图 2

本研究所用的两台激光雨滴谱仪分别架设于屏南站和尤溪站(图 1),所取得的雨滴谱数据可反映台风麦德姆移动路径上和其移动方向右侧强降水区的降水特征。

根据卫星云图(图 1)变化,台风麦德姆登陆减弱后眼区结构不明显,因此,将其影响尤溪和屏南分别分为 3 个阶段:屏南外围右前部雨带(第 1 阶段)、外围右侧雨带(第 2 阶段)、外围右后部雨带及残留云系(第 3 阶段),尤溪外围正前部雨带(第 1 阶段)、中心区域云带(第 2 阶段)、外围后部雨带及残留云系(第 3 阶段)。由图 1 可知,第 1 阶段前期台风未登陆前(7 月 23 日 10:25),两观测点上空均为云顶温度较高的雨层云,后期台风登陆时(7 月 23 日 15:30)两观测点为云顶温度低的积雨云。当台风麦德姆中心靠近尤溪时(7 月 23 日 22:24),两观测点上空转为温度较高层云。当台风麦德姆远离时,后部及残留云系为团块状的积雨云。

2 数据及计算

2.1 数据可靠性

2013 年 12 月—2014 年 2 月两台雨滴谱仪架设在同一地点进行过对比观测,对观测所计算的分钟雨量进行分析,一致性指数 IA(index of agreement, 值越靠近 1 越好)为 0.991,认为两台雨滴谱仪所测得的数据一致性较高。PARSIVEL 第 2 代雨滴谱仪较第 1 代相比,粒子粒径精度得到提高,在屏南站和尤溪站观测时,分别将雨滴谱仪计算得出的分钟雨量与同站的雨量筒测得数据进行相关性分析,相关系数为 0.948,也没有存在第 1 代观测数值偏大的情况,考虑到仪器测量精度的差异,认为雨滴谱仪

所测得的数据能够较好地反映实际的降水变化情况。

2.2 雨滴谱微物理参量计算

PARSIVEL 第 2 代雨滴谱仪所测量数据共有 32 个尺度测量通道和 32 个速度测量通道,原始数据为观测区域内一定时间间隔累积所取得的各档粒子数,本研究运用的雨滴谱为经过计算转换具有 32 个尺度的数浓度空间分布谱(单位: $\text{m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$),雨滴总数浓度 N (单位: m^{-3});雨强 R (单位: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

$$R = \frac{\rho\pi}{6} \int N(D) D^3 V(D) dD, \quad (1)$$

其中, $V(D)$ 为各档粒子下落末速度;含水量 L (单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

$$L = \frac{\rho\pi}{6} \int N(D) D^3 dD, \quad (2)$$

D_0 为体积中值直径(单位:mm),

$$\int_{D_0}^{D_{\max}} D^3 N(D) dD = \int_{D_{\min}}^{D_0} D^3 N(D) dD, \quad (3)$$

定义为含水量的一半是由最小到 D_0 之间的滴所组成的,其意义为当雨强相同时, D_0 大,代表雨滴谱中有较多的大雨滴; D_0 小,代表有较多的小雨滴。

2.3 雨滴谱参数拟合

20 世纪 Marshall 等^[14]研究得出雨滴谱分布近似于指数分布,即 M-P 分布, $N(D) = N_0 \exp(-\lambda D)$ 。但 M-P 分布对雨滴谱中大、小滴拟合效果不佳,无法反映雨滴谱的多变性。因此,Ulbrich 等^[15]利用 Gamma 分布来描述雨滴谱,

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\lambda D), \quad (4)$$

其中, N_0 为谱截距参数, μ 为形状因子, λ 为斜率参数。通过 3 个参数的调整可修正 M-P 分布在大、小滴端拟合不佳的情况,且能更有效地反映真实雨滴谱分布变化,因此,该函数被广为使用。

3 雨滴谱特征分析

3.1 降水参数演变特征

屏南站的雨强起伏较明显(图 3c), 台风麦德姆外围云系右前侧(屏南第 1 阶段)为阵性强降水, 屏南第 1 阶段后期降水逐渐连续, 最大雨强达 $70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 出现在 2014 年 7 月 23 日 18:00 左右; 进入低压外围右侧云系(屏南第 2 阶段)时, 雨强在 23 日 22:00 出现减弱且变化平稳, 至 24 日 01:00 雨强又出现增强且起伏波动; 进入台风麦德姆右后侧外围云系(屏南第 3 阶段)后降水间隔开始增大, 仍表现为片段性的强降水。相比之下, 尤溪站的雨强(图 3a)明显小于屏南站, 且起伏程度也没有其剧烈; 台风麦德姆外围云系前部(尤溪第 1 阶段)时, 以短时的阵性降水为主, 没有屏南第 1 阶段剧烈; 靠近中心区域(尤溪第 2 阶段)时, 降水出现小的起伏; 但进入

低压中心(24 日 00:00—01:00)雨强减小且变化平稳, 随后 24 日 01:00 雨强增加至 $10 \sim 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 变化剧烈; 当转为低压后部(尤溪第 3 阶段)时, 雨强明显减小至 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下, 24 日 14:00 后尤溪站在残留云系影响下个别时刻产生短时强降水, 雨强最大可达 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

从雨滴总数浓度 N 看(图 3a、图 3c), 屏南站的大值主要集中在第 2 阶段后期到第 3 阶段初期以及第 3 阶段后期的短时强降水阶段, 尤溪站雨滴总数浓度 N 同样比屏南站小, 其大值集中在第 2 阶段的前期和后期以及第 3 阶段后期的短时强降水, 雨滴总数浓度 N 的增加与雨强 R 的增加有一定关联, 但增加程度并不一致, 即总数浓度 N 极值时对应的雨强 R 并非极值。从含水量 L 来看(图 3b、图 3d), 两站含水量的变化与雨强的变化较为一致, 仍是尤溪站的值小于屏南站。由图 3 可知, D_0 的变化确实与雨强 R 及含水量 L 的变化有一定的联系, 即雨强

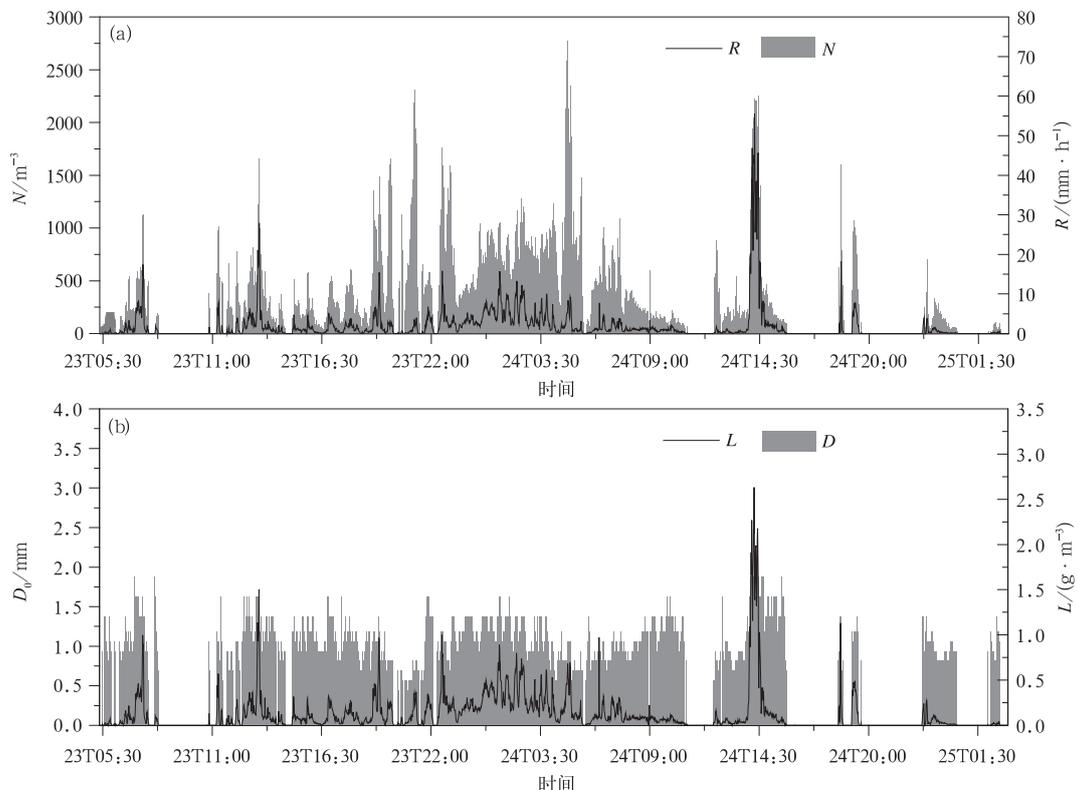
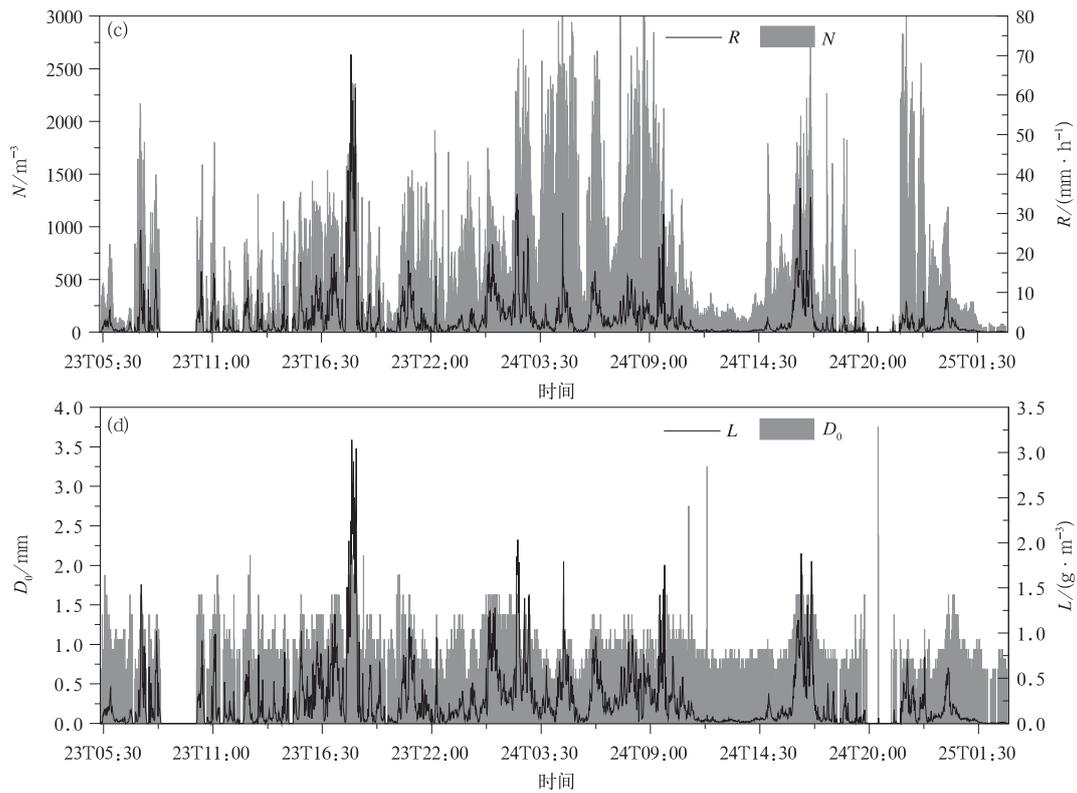


图 3 2014 年 7 月台风麦德姆影响期间降水参数演变 (a) 尤溪站雨滴总数浓度和雨强, (b) 尤溪站体积中值直径和液态水含量, (c) 屏南站雨滴总数浓度和雨强, (d) 屏南站体积中值直径和液态水含量

Fig. 3 Changes of precipitation parameters during typhoon Matmo in Jul 2014

(a) raindrop concentration and rainfall intensity at Youxi, (b) volume median diameter and liquate water content at Youxi, (c) raindrop concentration and rainfall intensity at Pingnan, (d) volume median diameter and liquate water content at Pingnan



续图 3

和含水量增加时也出现 D_0 的增加,但变化程度与雨滴总数浓度一样不那么一致。

从各阶段的雨滴平均谱看(图 4),从第 1 阶段到第 3 阶段,屏南站的雨滴平均谱呈谱宽由宽变窄,

直径小于 1 mm 的雨滴数浓度先增后减,大于 2 mm 的部分数浓度逐渐减小的特点;尤溪站则为小于 1 mm 的雨滴数浓度先增后减,第 3 阶段大于 2 mm 的雨滴数浓度和谱宽突增的特点。在台风麦

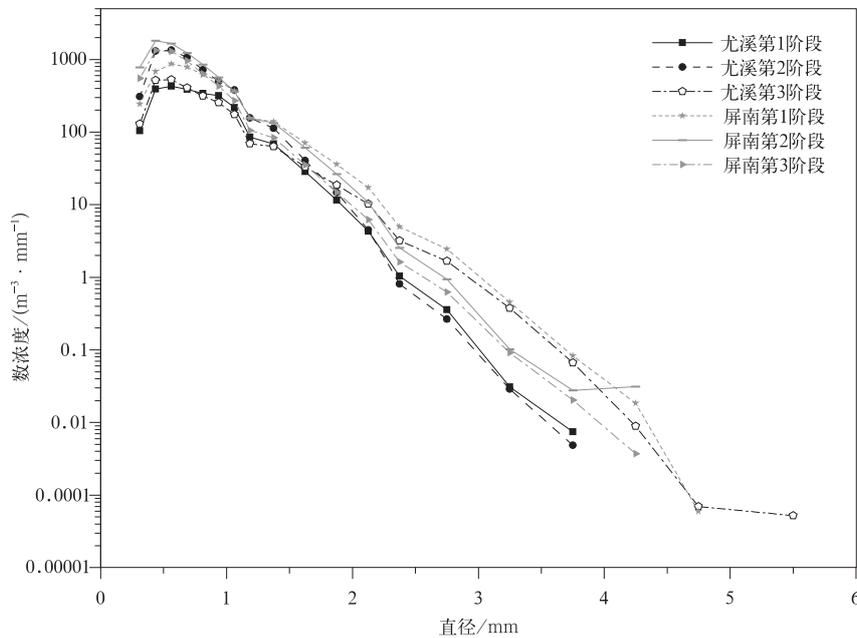


图 4 台风麦德姆各降水阶段雨滴平均谱

Fig. 4 Average spectrums of raindrop size during typhoon Matmo

德姆影响的前两个阶段,移动路径右侧云系降水即屏南站的滴谱各档数浓度以及谱宽均大于移动路径中心(尤溪)所得。靠近中心阶段两站的雨滴平均谱出现大量直径小于 1 mm 的雨滴,较台风外围前侧阶段数浓度增加明显,同时直径大于 2 mm 的雨滴数浓度有所减小,屏南站减小幅度大于尤溪站。台风麦德姆后部影响阶段,尤溪站平均谱出现明显增

宽,直径小于 1 mm 的雨滴数浓度减小,直径大于 2 mm 的部分数浓度增大,且其谱宽以及直径大于 2 mm 的雨滴数浓度均比屏南要大。

3.2 雨滴谱参量分布特征

由图 3 可知,数浓度 N 和体积中值直径 D_0 的变化都与雨强变化存在一定的联系,因此,图 5 讨论台风降水中不同雨强 R 下雨滴数浓度 N 和雨滴

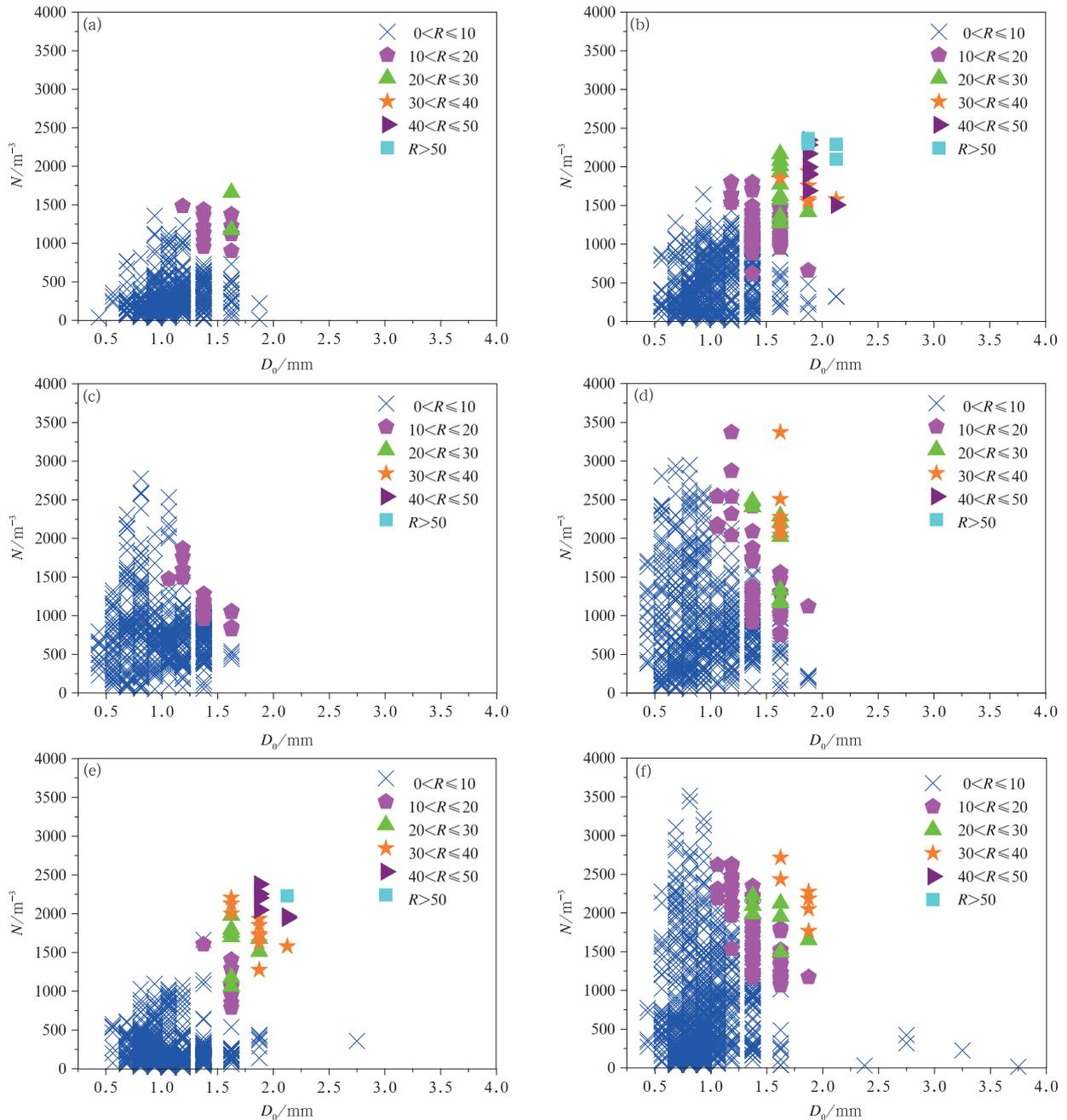


图 5 不同雨强(单位: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)雨滴总数浓度与体积中值直径分布

(a) 尤溪第 1 阶段, (b) 屏南第 1 阶段, (c) 尤溪第 2 阶段, (d) 屏南第 2 阶段, (e) 尤溪第 3 阶段, (f) 屏南第 3 阶段
Fig. 5 Raindrop concentration and volume medium diameter under different rainfall intensity (unit: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

(a) stage I at Youxi, (b) stage I at Pingnan, (c) stage II at Youxi, (d) stage II at Pingnan, (e) stage III at Youxi, (f) stage III at Pingnan

体积中值直径 D_0 的分布情况。

雨强小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,屏南站和尤溪站各阶段取得的样本大部分出现在低 D_0 区,对应的 N 范围广可超过 2000 m^{-3} ,少量样本出现在低 N 高 D_0 的区域,因此,该量级的降水主要以大量的小粒子贡献为主,偶尔为少量的大粒子贡献。在靠近台风中心(图 5c、图 5d)时,尤溪站和屏南站均出现 D_0 减小,高 N 低 D_0 的样本量较前一阶段(图 5a、图 5b)大量增加,此时小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的雨强由高浓度小粒子贡献要高于前一阶段。台风后部及其残留云系(图 5e、图 5f),尤溪站小粒子总数浓度回落,部分样本对应的 D_0 增加;但屏南站仍出现高 N 低 D_0 的样本,只有零星出现在低 N 高 D_0 区域,说明台风麦德姆右后侧云系中小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的雨强仍由小粒子贡献为主,且小粒子数浓度保持较高水平。

在雨强大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的区间,屏南站和尤溪站样本分布状况有所不同。尤溪站的样本,特别是第 3 阶段(图 5e)随着雨强的增大, N 和 D_0 出现同时增大,然而屏南站的样本只有 D_0 随着雨强的增大而增大,屏南第 1 阶段特征(图 5b)与尤溪第 3 阶段类似,屏南第 2(图 5d)和屏南第 3 阶段(图 5f) N 则没有特别的规律。尤溪站雨强较大的样本主要为台风外围云系的前期(第 1 阶段)以及后部残留云系(第 3 阶段)的降水(图 5a、图 5e),屏南站样本则分布在各个阶段的降水中,因此,认为尤溪站前期和后期的强降水是雨滴增大数浓度增多的直接表象,而屏南站的整个降水过程比尤溪更不稳定,碰并破碎更剧烈,导致雨滴粒径增加时 N 不断反复。

由于 Gamma 分布已经被广泛应用于云物理研

究中,特别是模式的微物理方案和双偏振雷达定量测降水。Gamma 分布中的 3 个参数 N_0, μ, λ 之间存在一定的联系, N_0 与 μ 直接相关,那么寻求 μ 和 λ 之间的关系能够得到较好的 Gamma 分布的参数化结果。Zhang 等^[16]、胡子浩等^[17] 研究认为 $\mu-\lambda$ 存在二项式函数关系,图 6 分别对屏南站和尤溪站在台风麦德姆中测得的降水中选取 $R > 1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的样本进行线性 and 二项式拟合,两种方法拟合得到的曲线相差不大。拟合结果表明,在台风麦德姆降水中, μ 与 λ 符合的二项式函数关系只是略好于线性关系。因此,可考虑用图 6 中 μ 与 λ 的线性关系代入 Gamma 分布简化为双参数函数。利用 Gamma 函数对台风麦德姆降水的雨滴平均谱进行拟合(图 7),从拟合结果来看,由尤溪站计算得的 μ 与 λ 线性关系式进行简化后的 Gamma 函数拟合效果最低,三参数的 Gamma 函数拟合结果最高,其次是屏南站所得的简化 Gamma 函数;三参数拟合曲线在直径小于 1 mm 的小滴端拟合效果优于双参数,大于 1 mm 的档位拟合结果比实际偏小;简化后的双参数函数在小滴端拟合均有偏差,但利用屏南站数据所得的简化函数在大于 1 mm 的档位拟合效果最好,好于三参数法,且最接近于实际平均谱。

另外,Gamma 分布的 3 个参数 N_0, μ, λ 随雨强的变化特征研究结果大相径庭:Tokay 等^[18] 研究认为,雨强较大($R > 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)时 N_0, μ, λ 均偏向大值,当雨强较小时三者均偏向小值;Caracciolo 等^[19] 研究认为 N_0, λ 随着雨强的增大而减小, μ 则随着雨强的增大而增大;Nzeukou 等^[20] 的研究结果中认为, N_0, μ 随着雨强的增大而增大, λ 则随着雨

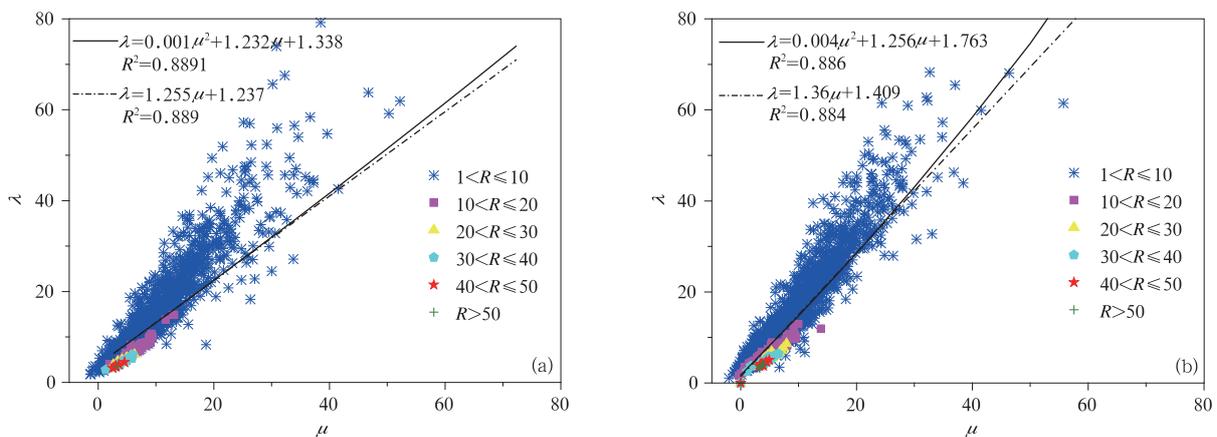


图 6 不同雨强(单位: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$) Gamma 函数参数分布 (a) 尤溪站, (b) 屏南站

Fig. 6 Gamma parameter distribution under different rainfall intensity(unit: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$) (a) Youxi, (b) Pingnan

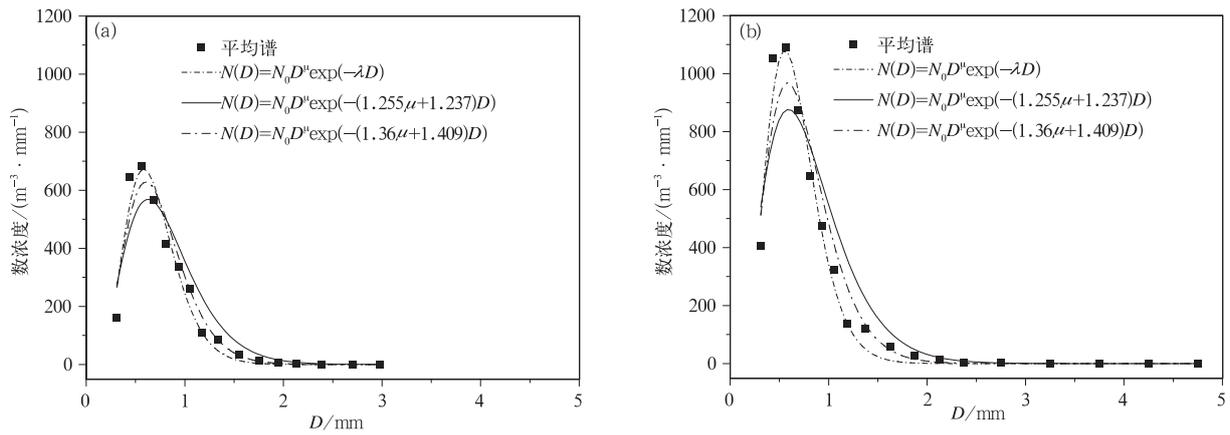


图 7 平均谱及 Gamma 函数拟合 (a) 尤溪站, (b) 屏南站

Fig. 7 Average spectrum and Gamma fit results (a) Youxi, (b) Pingnan

表 1 Gamma 函数及简化函数拟合结果

Table 1 Fit results of Gamma and reduced Gamma distribution

站点	拟合公式	N_0	μ	λ	r^2
尤溪	$N(D) = N_0 D^n \exp(-\lambda D)$	4.48×10^6	5.72	9.81	0.96
	$N(D) = N_0 D^n \exp(-\lambda D), \lambda = -1.255\mu + 1.237$	1.24×10^5	3.68		0.88
	$N(D) = N_0 D^n \exp(-\lambda D), \lambda = -1.36\mu + 1.409$	8.75×10^5	4.82		0.94
屏南	$N(D) = N_0 D^n \exp(-\lambda D)$	5.78×10^6	5.40	9.74	0.98
	$N(D) = N_0 D^n \exp(-\lambda D), \lambda = -1.255\mu + 1.237$	6.90×10^4	2.87		0.89
	$N(D) = N_0 D^n \exp(-\lambda D), \lambda = -1.36\mu + 1.409$	4.32×10^5	3.96		0.95

强的增大而减小。由图 6 可知,当雨强小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时 μ, λ 分布较广;当雨强大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, μ, λ 均随着雨强的增大而减小,雨强越大, μ, λ 两者越偏向小值。此结论与吴舜华^[21]在我国台湾地区台风降水研究结论类似。因此, Gamma 分布参数随雨强的变化情况与地域和降水类型有关。

4 小 结

研究表明:

- 1) 台风麦德姆较强雨强出现在其外围右前侧、后侧及残留云系,其路径右侧雨强起伏波动要强于路径中心所测,外围云系为阵性降水,雨强波动频繁,靠近中心为连续性降水,雨强变化平稳。
- 2) 台风麦德姆右侧各部分云系,雨滴平均谱呈谱宽由宽变窄、小滴端雨滴数浓度先增后减、大滴部分数浓度逐步减小的特点;经过移动路径中轴的云系则是小滴数浓度先增后减、残留云系大滴数浓度和谱宽突增的特点。
- 3) 含水量变化与雨强变化较为一致,雨滴总数

浓度与雨强、体积中值直径与雨强及含水量有一定关联,但变化程度并不一致。

4) 雨强小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,降水主要以大量的小粒子贡献为主,偶尔为少量的大粒子贡献;右侧云系降水高浓度小粒子对雨强贡献大于移动路径中轴云系,台风麦德姆中心附近云系降水高数浓度的小粒子贡献大于其前后外围云系。雨强大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的时,总体表现为随着雨强增大,大滴的贡献增大。台风麦德姆云系前部和后部强降水为雨滴增大数浓度增多的直接表象,右侧云系强降水较不稳定,雨滴粒径增加但数浓度不断地反复。

5) 台风麦德姆降水中,参数 μ 与 λ 利用线性关系表达可简化 Gamma 分布,且简化效果较好;当雨强小于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, μ, λ 分布较广;当雨强大于 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,雨强越大 μ, λ 两者越偏向小值。

参 考 文 献

[1] Petersen W A, Carey L D, Rutledge S A, et al. Mesoscale and radar observations of the fort collins flash flood of 28 July 1997. *Bull Ameri Meteor Soc*, 1999, 80(2): 191-216.
 [2] Vieux B E, Bedient P B. Estimation of rainfall for flood pre-

- diction from WSR-88D reflectivity: A case study, 17–18 October 1994. *Wea Forecasting*, 1998, 13(2): 407-415.
- [3] Tokay A, Kruger A, Krajewski W F, et al. Measurements of drop size distribution in the southwestern Amazon basin. *J Geophys Res Atmos*, 2002, 107(20): 1901-1915.
- [4] Ulbrich C W, Lee L G. Rainfall characteristics associated with the remnants of tropical storm Helene in upstate South Carolina. *Wea Forecasting*, 2002, 17(6): 1257-1267.
- [5] Tokay A, Bashor P G, Habib E, et al. Raindrop size distribution measurements in tropical cyclones. *Mon Wea Rev*, 2008, 136(5): 1669-1685.
- [6] 黄文根, 邓北胜, 熊廷南. 一次台风暴雨的初步分析. *应用气象学报*, 1997, 8(2): 247-251.
- [7] 田辉, 马开玉, 林振山. 华南、华东沿海登陆台风暴雨和大风的分析. *应用气象学报*, 1999, 10(增刊 I): 149-153.
- [8] 钮学新, 董加斌, 杜惠良. 华东地区台风降水及影响降水因素的气候分析. *应用气象学报*, 2005, 16(3): 402-407.
- [9] 朱龙彪, 郑铮, 何彩芬. 0414 号台风“云娜”多普勒雷达探测. *应用气象学报*, 2005, 16(4): 500-508.
- [10] 王艳, 郑栋, 张义军. 2000—2007 年登陆台风中闪电活动与降水特征. *应用气象学报*, 2011, 22(3): 321-328.
- [11] 程正泉, 陈联寿, 李英. 大陆高压对强热带风暴碧利斯内陆强降水影响. *应用气象学报*, 2013, 24(3): 257-267.
- [12] 宫福久, 李子华, 陈宝君, 等. 一次北上台风降水微结构演变特征. *气象科学*, 1997, 17(4): 335-343.
- [13] Chen Baojun, Wang Yuan, Ming Jie. Microphysical characteristics of the raindrop size distribution in typhoon MORAKOT (2009). *Journal of Tropical Meteorology*, 2012, 18(2): 162-171.
- [14] Marshall J S, Palmer W M. The distribution of rain drops with size. *J M Cleor*, 1948, 5(4): 165-166.
- [15] Ulbrich C W, Atlas D. Natural variations in the analytical Form of the raindrop size distribution. *J Climate Appl Meteor*, 2010, 22(10): 1764-1775.
- [16] Zhang G, Vivekanandan J, Brandes E A, et al. The shape-slope relation in observed Gamma raindrop size distributions: Statistical error or useful information. *J Atmos Ocean Technol*, 2010, 20(8): 1106-1119.
- [17] 胡子浩, 濮江平, 濮云涛, 等. 南海一次海洋性对流云降水雨滴谱特征分析. *热带气象学报*, 2014, 30(1): 181-188.
- [18] Tokay A, Short D A. Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds. *J Appl Meteor*, 1996, 35(3): 355-371.
- [19] Caracciolo C, Prodi F, Battaglia A, et al. Analysis of the moments and parameters of a gamma DSD to infer precipitation properties: A convective stratiform discrimination algorithm. *Atmospheric Research*, 2006, 80(2-3): 165-186.
- [20] Nzeukou A, Sauvageot H, Ochou A D, et al. Raindrop size distribution and radar parameters at Cape Verde. *J Applied Meteor*, 2004, 43: 90-105.
- [21] 吴舜华. 利用雨滴谱仪分析不同降水系统之微物理特征性研究. 台湾桃园: 国立中央大学, 2006: 20-24.

Rainfall Intensity and Raindrop Spectrum for Different Parts in Landing Typhoon Matmo

Lin Wen¹⁾ Lin Changcheng¹⁾ Li Bailiang²⁾ Zheng Wenjun³⁾ Hu Lunshan⁴⁾ Yu Yongjiang¹⁾

¹⁾ (*Fujian Institute of Meteorological Science, Fuzhou 350001*)

²⁾ (*Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001*)

³⁾ (*Youxi Meteorological Bureau of Fujian Province, Sanming 365114*)

⁴⁾ (*Pingnan Meteorological Bureau of Fujian Province, Ningde 352300*)

Abstract

During typhoon Matmo passage over Fujian from 23 Jul to 25 Jul in 2014, it passes through two disdrometer sites: Pingnan and Youxi. Pingnan site locates in eastern Fujian that represents the heavy rain region of typhoon Matmo, and Youxi site represents the middle path region of typhoon Matmo moving. Thus, microphysical characteristics of raindrop size distribution in different parts of typhoon Matmo are studied through the PARSIVEL2 disdrometer measurements at these two sites. The evolution of raindrop size distribution parameters reveals different segments of the storm, that the fluctuation of rainfall intensity in the right part is stronger than those in the middle. Heavy rainfalls happen in right front side, rear side of outer rainband and residual cloud. There is showery in the outer rainband in which rainfall intensity fluctuate frequently. Approaching to the central region of typhoon Matmo, the precipitation becomes more continuous and rainfall intensity changes more smoothly. In the right side rainband, the spectral width of raindrop size distribution changes from wide to narrow, the concentration of small rain drops increases at first and then decreases, and concentration of large rain drops decreases gradually. In the middle path of typhoon Matmo, the concentration of small rain drops increases first and then decreases, but spectral width of raindrop size distribution and concentration of large rain drops suddenly rise for difference. The evaluation of raindrop concentration and liquate water has some certain relations to the changed rainfall intensity, but degrees of their changes are not in tune. When rainfall intensity is less than $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, a large number of small droplets contribute to the precipitation. The contribution to rainfall intensity by large number of small raindrops is higher in the right side rainband than in the middle moving path. In the central region of typhoon Matmo, the contribution by high concentration of small raindrops to the rainfall intensity is higher than in front side and rear side rainband. On the contrary, when rainfall intensity is higher than $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, the heavy rainfall in front outer rainband and residual cloud are the direct appearances by concentration growing of large droplets. The precipitation at Pingnan is more unstable than that at Youxi, so more fiercely collision broken processes lead to raindrop concentration repeating with droplets growing in right part of typhoon Matmo. Parameters of μ and λ meet the linear function both at 2 sites. Linear fit functions can be used to reduce Gamma distribution function, getting good results. The μ and λ have wide distributions in the region less than $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. However, when rainfall intensity is more than $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, parameters of μ and λ decrease with rainfall intensity increasing, and vary with rainfall intensity related to the region and precipitation types.

Key words: raindrop size distribution; rainfall intensity; typhoon Matmo; PARSIVEL