

文章编号: 2096-1618(2017)01-0035-06

# 不同波段垂直探测雷达对降水云雨滴谱反演效果对比分析

孙豪<sup>1,2</sup>, 刘黎平<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**在对云微物理的研究中,雨滴谱是一个重要参量,对理解云内成雨机制的探索、人工增雨效果的检验等方面都具有重要意义。利用2016年4-5月广东龙门的个例,讨论Ka波段毫米波雷达和C波段调频连续波雷达探测能力的差异,对比它们在不同云个例中雨滴谱的反演情况,得到如下结论:由于C波段雷达的波束宽度比Ka波段雷达大很多,故在小粒径区的探测上,其粒子数浓度略大,但最终对雨滴谱分布的拟合影响较小。探测层状云时,两部雷达对雨滴谱的反演效果基本一致;探测积层混合云及积雨云时,Ka波段雷达反演的雨滴谱数浓度从粒径约为1.2 mm处开始小于C波段雷达。米散射和衰减对雷达反演雨滴谱的影响本质上是作用在功率谱密度上,导致大粒径雨滴谱反演的偏低及回波强度的偏低,故在雷达回波订正上可以考虑从功率谱密度入手进行订正。

**关键词:** Ka波段毫米波雷达; C波段调频连续波雷达; 功率谱密度; 雨滴谱反演

**中图分类号:** TN959.4

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2017.01.006

## 0 引言

在研究云微物理过程中,雨滴谱是其中一个重要参量,雨滴谱分布的研究对理解云内成雨机制的探索、人工增雨效果的检验、雷达定量测量降水等方面都具有重要意义和价值。中国关于雨滴谱的研究有很多,刘红燕等<sup>[1]</sup>使用地面雨滴谱资料,通过不同降水云系雨滴谱的特点,将层状云降水云系和对流云降水云系划分开。濮江平等<sup>[2]</sup>使用激光雨滴谱仪资料进行 $\gamma$ 分布拟合,对于不同云系降水其雨滴谱拟合精度都较高,尤其是层状云降水。

当前使用雨滴谱仪测量只能得到近地面雨滴谱的准确数值,对空中的雨滴谱分布无能为力。然而,目前很多雷达设备不但可以输出3个基本量产品,还可以输出功率谱密度数据,由于功率谱密度内容的丰富性,使获取高空雨滴谱分布成为可能,刘黎平等<sup>[3]</sup>研究毫米波雷达功率谱密度数据的检验及弱降水滴谱的反演,证明功率谱密度数据的可靠性及滴谱反演方法的准确性。王晓蕾等<sup>[4]</sup>利用风廓线雷达功率谱密度数据实现了大气返回信号和降水信号的分离,从而进一步得出云中滴谱分布及云中含水量。黄兴友等<sup>[5]</sup>利用风廓线雷达功率谱密度数据反演出较为准确的雨滴谱分布并分析其与水汽通量之间的关系。李淘<sup>[6]</sup>利用调频连续波雷达资料反演了雨滴谱,并用非线性最小二乘法进行拟合,结果显示比 $\gamma$ 拟合和M-P拟

合更优。当前检验雷达反演雨滴谱准确性的方法大多还是与地面雨滴谱仪、飞机观测数据对比,或者拟合后通过对比参数和雨强的关系进行确认,但对于不同波段雷达反演出雨滴谱的对比工作,目前中国研究较少。由于不同波段雷达回波受的散射效应和衰减影响不同,即便在观测同一目标,反演出的雨滴谱也存在差异,故研究它们的差异是很有必要的。为对华南暴雨进行观测,中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室于2016年在广东省惠州市龙门县进行了多设备联合观测试验,利用联合观测试验中Ka波段毫米波雷达数据及以C波段调频连续波雷达数据,尝试进行高空雨滴谱的反演,并对比两部雷达在不同强度降水过程中雨滴谱的反演效果,分析出反演出现差距的原因,这对以后雷达系统的准确定标以及不同雷达资料之间的订正具有重要意义。

## 1 探测设备介绍

Ka波段固态发射机毫米波雷达采用的是脉冲多普勒、全相参、固态、脉冲压缩的探测体制,探测方式为垂直探测,能够获取雷达上方云和降水的回波强度、径向速度、速度谱宽、退极化比及原始功率谱数据。C波段调频连续波垂直观测雷达是采用调频连续波全相参体制的降水观测系统,探测方式也是垂直探测,可以探测到雷达上方的功率谱密度数据及回波强度、速度、谱宽、回波功率数据。其中两部雷达技术指标见表1。

表1 Ka波段毫米波雷达、C波段连续波雷达技术指标

指标项	Ka波段毫米波雷达	C波段连续波雷达
雷达体制	脉冲多普勒、单发双收、线性极化、全固态	连续波体制
探测波长	8.6 mm	5.4 cm
探测方式	垂直探测	垂直探测
探测要素	功率谱密度、回波强度、径向速度、速度谱宽、退偏振比	功率谱密度、回波强度、径向速度、速度谱宽、回波功率
探测范围	0.3 ~ 15.3 km	0.03 ~ 15 km
FFT 谱点数	256	512
时间分辨率	8.8 s	6 s
高度分辨率	30 m	30 m
波束宽度	0.3°	2.6°
5 km 灵敏度	-38 dBz	-32 dBz

## 2 数据处理方法

### 2.1 雨滴谱反演方法

#### 2.1.1 功率谱密度数据初步处理

由于在探测过程中,遇到较强降水时会发生速度模糊,反应在功率谱密度上就是在负的大速度区上有回波信号,此时应将位于负速度区的信号平移,并重新划定速度刻度。另外,在探测中,Ka波段毫米波雷达和C波段调频连续波雷达的时间分辨率分别为8.8 s和6 s,时间间隔过短很容易受空气中小扰动的影响。为避免这个情况,选取谱型几乎没有太大变化的3 min时间区间,并做3 min的时间平均,这样可以在保留功率谱密度特点的基础上除去空气小扰动。

#### 2.1.2 空气垂直速度的确定

对于空气垂直速度的计算,通常使用的是 Rogers<sup>[7]</sup>提出的  $w_0$ - $Z$  关系法,关系式如下:

$$w_0 = A \cdot Z^B \quad (1)$$

$$w_0 = \bar{v} - w_0 \quad (2)$$

通过回波强度  $Z$  计算出静止大气下粒子的下落末速度  $w_0$ ,再与平均多普勒速度作差即为空气垂直速度,但是由于  $w_0$ - $Z$  关系中的系数  $A$ 、 $B$  在不同地区、不同降水类型差别很大,其值很难确定,故在使用中存在一定的问题。由于实验中的 Ka 波段毫米波雷达具有很高的灵敏度,5 km 的最小探测强度可达 -38 dBz,故可以使用王晓蕾等<sup>[4]</sup>提出的将功率谱中大气回波与降水回波分离的方法,从功率谱中找出零速度附近的小信号回波,从而进行空气垂直速度的确定。

#### 2.1.3 降水粒子落速与粒径之间的关系

根据理论分析和实测资料,在静止大气中,关于雨滴下落末速度与粒径的关系一般可以用幂函数表示:

$$V(D) = c \cdot D^\beta \quad (3)$$

根据 Gunn 等<sup>[8]</sup>通过实验获得的静止大气下粒子直径

与其下落末速度的经验公式:

$$V(D) = 9.65 - 10.4 \exp(-0.6D) \quad (4)$$

其对应直径范围约为  $0.06 \leq D \leq 0.58$ ,由于其准确度较高,该式在云降水研究中得到广泛应用。

#### 2.1.4 回波强度谱密度的计算

由于不同雷达规格不同,所取的功率谱密度不能直接对比。为此使用如下方法:将3种雷达的功率谱定标后带入雷达气象方程(5)、(6),将谱上所有谱点的回波功率全部计算为回波强度,最终得到两种雷达的回波强度谱密度分布,单位为  $\text{dBz}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 。

$$Z = \frac{P_r}{C} R^2 \quad (5)$$

$$C = \frac{\pi^3 P_t G^2 \theta^2 h}{1024 (\ln 2) \lambda^2} |k|^2 \quad (6)$$

#### 2.1.5 雨滴谱的反演

初步处理后的功率谱密度数据实际上就是回波功率随径向速度分布的集合,去除空气垂直速度后转变为静止大气下的回波功率随径向速度的分布,根据降水粒子落速与粒径的关系转变为静止大气下回波功率谱随粒径的分布。由于每个直径  $D_i$  的回波功率为

$$P_{pi} = \frac{C \cdot D_i^6}{R^2} \quad (7)$$

其中  $C$  为雷达常数,  $D_i$  为粒子直径,  $R$  为探测距离。结合整体功率谱密度分布于每个粒径功率谱密度分布的关系可以通过式(8)得出雨滴谱分布:

$$N(D_i) = \frac{P_i}{P_{pi} \cdot \Delta D_i} \quad (8)$$

其中,  $P_i$  为静止大气下回波功率分布,  $\Delta D_i$  为相邻粒子直径间隔。

### 2.2 雨滴谱非线性最小二乘法拟合

对于雨滴谱的拟合,通常是使用 M-P 分布和 Gamma 分布,两者的表达式分别为

$$N(D) = N_0 \cdot \exp(-\lambda D) \quad (9)$$

$$N(D) = N_0 \cdot D^\mu \cdot \exp(-\lambda D) \quad (10)$$

其中  $N_0$  为浓度参数,  $\mu$  为形状参数,  $\lambda$  为斜率参数。当  $\mu=0$  时, M-P 分布就是特殊的 Gamma 分布。但在使用龙门地区雷达资料进行 M-P 拟合及 Gamma 拟合时,发现并不能准确拟合出雨滴谱分布,在大粒径区域观测值与拟合曲线相差较大,故在假设雨滴谱遵循 Gamma 分布的前提下,使用非线性最小二乘法拟合<sup>[6]</sup>。

非线性最小二乘法拟合就是寻找一个函数,这个函数使每个观测值与拟合值差值的平方最小。这种方法拟合效果较好,从而获取最接近观测值得分布参数值。具体方法首先将 Gamma 分布两边取对数:

$$\ln(N(D)) = \ln N_0 + \mu \cdot \ln(D) - \lambda D \quad (11)$$

令每个观测值与拟合值差值的平方最小,即

$$S(\ln N_0, \mu, \lambda) = \sum_{i=1}^n [\ln N_0 + \mu \cdot \ln(D_i) - \lambda D_i - \ln(N(D_i))]^2 \quad (12)$$

当  $S(\ln N_0, \mu, \lambda)$  最小时,就是要获得的 Gamma 函数。即

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial(\ln N_0)} &= 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \mu} &= 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \lambda} &= 0; \end{aligned} \quad (13)$$

同时成立。为方便计算,引进中间变量  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ,并令观测所得的雨滴谱直径为  $x_i$ ,雨滴谱浓度为  $y_i$ ,计算可得:

$$C_1 = \frac{C_3 A_0 + A_2 - C_2 A_1}{n} \quad (14)$$

$$C_2 = \frac{n C_3 A_4 + n A_6 - C_3 A_0 A_1 - A_1 A_2}{n A_3 - A_1^2} \quad (15)$$

$$C_3 = \frac{n A_0 A_1 A_6 - n A_0 A_2 A_3 - n^2 A_4 A_6 + n A_1 A_2 A_4 + n^2 A_3 A_7 - n A_1^2 A_7}{n A_0^2 A_3 - 2 n A_0 A_1 A_4 + n^2 A_4^2 - n^2 A_3 A_5 + n A_1^2 A_5} \quad (16)$$

其中:

$$A_0 = \sum_{i=1}^n x_i, A_1 = \sum_{i=1}^n \ln x_i, A_2 = \sum_{i=1}^n \ln y_i, A_3 = \sum_{i=1}^n \ln x_i \cdot \ln x_i,$$

$$A_4 = \sum_{i=1}^n \ln x_i \cdot x_i, A_5 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_i, A_6 = \sum_{i=1}^n \ln x_i \cdot \ln y_i,$$

$$A_7 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \ln y_i$$

Gamma 拟合的 3 个参数分别为

$$N_0 = \exp(C_1), \quad \mu = C_2, \quad \lambda = C_3$$

### 3 对比结果分析

为对华南前汛期降水进行研究,中国气象科学研究院于 2016 年 4-5 月在广东省惠州市龙门县进行多设备联合观测试验,从中选取:2016 年 5 月 15 日层状云过程、2016 年 5 月 8 日积层混合云过程、2016 年 5 月 10 日积雨云过程 3 种不同云种的降水过程进行分析,选择 3 个过程中 Ka 波段连续雷达以及 C 波段调频连续波雷达资料,分别从回波强度、功率谱密度、反演雨滴谱分布进行对比,并分析差异。

#### 3.1 回波强度对比

在对比功率谱数据之前,首先对比两者回波强度的差异,分别选取 2016 年 5 月 15 日 20:35-20:50 层状云过程、2016 年 5 月 8 日 21:35-21:50 积层混合云过程、2016 年 03:05-03:20 积雨云过程 3 个时间段在 2.5 km 处的雷达资料,分别做两雷达回波强度对比如图 1 所示。

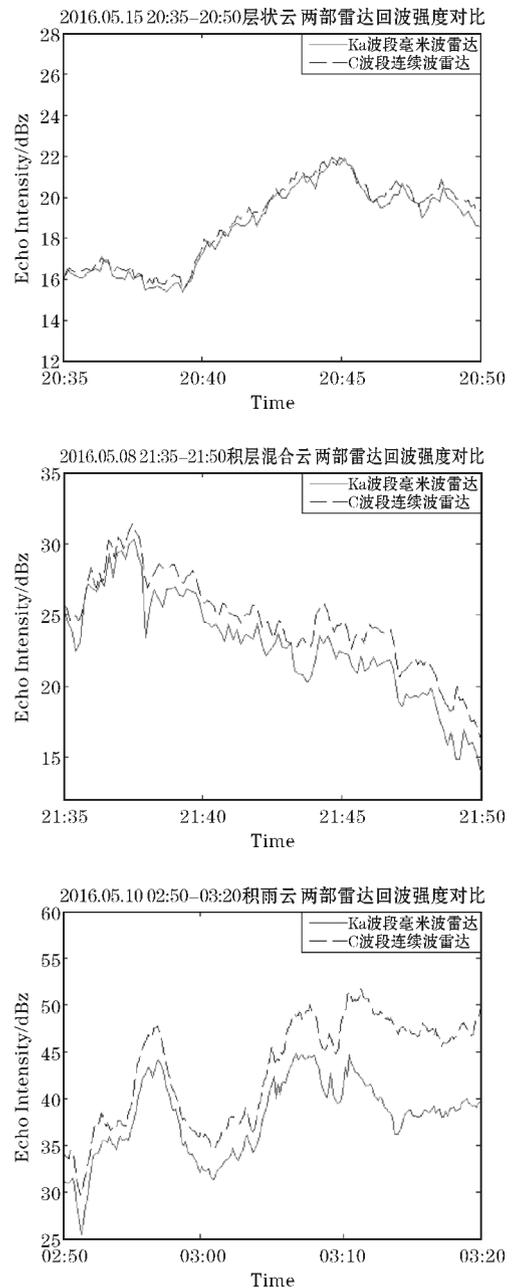


图 1 Ka 波段毫米波雷达、C 波段调频连续波雷达在 3 个个例中回波强度对比(高度为 2.5 km)

如图 1 所示,在探测层状云过程时,整个过程回波强度为 15~22 dBz,此时两部雷达所探测到的回波强度几乎一致。在探测积层混合云时,整个过程回波强度为 14~31 dBz,此时可以看出,两者回波偶尔相同,在大多时间段毫米波雷达的回波强度比连续波雷达要弱 1~3 dBz。在探测积雨云时,整个过程回波强度为 25~52 dBz,此时毫米波雷达的回波强度明显比连续波雷达要弱很多,它们直接的差距大约为 5~8 dBz。造成两者差异的主要原因就是降水云体对雷达回波造成的米散射效应和衰减作用,降水强度越强,米散射效应和衰减作用越强,这 2 个因素最终都导致回波强度小于真值。由于不同波长所受的米散射及衰减影响不同,波长越短,越容易受米散射和衰减影响,由于 Ka

波段毫米波雷达的波长比 C 波段连续波雷达小很多,故在强降水过程中,毫米波雷达的回波强度比连续波雷达要小。

### 3.2 功率谱密度对比

由于雨滴谱分布是由功率谱密度数据计算获得,

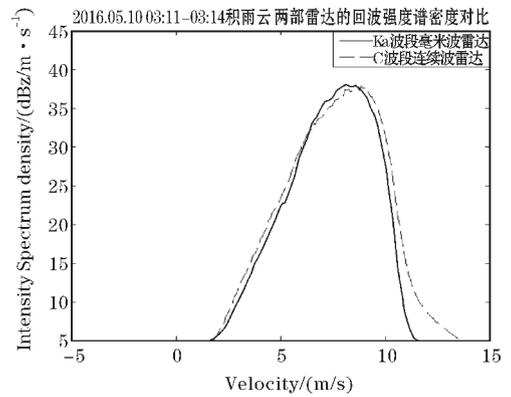
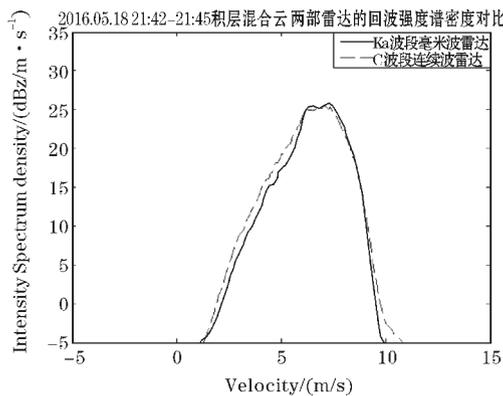
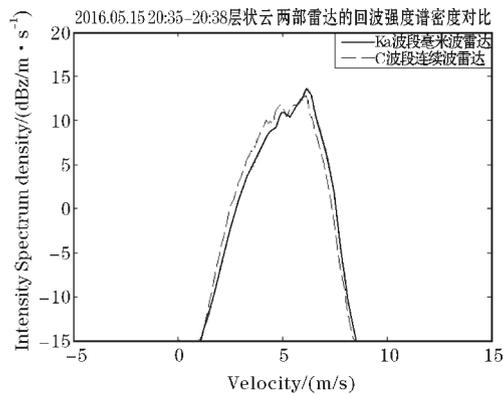


图2 Ka 波段毫米波雷达、C 波段调频连续波雷达在 3 个个例中回波强度谱密度的对比(取 3 min 时间平均,高度为 2.5 km)

功率谱密度的峰值速度位置、气象信号谱宽度等参量都对雨滴谱分布有至关重要的影响。由于不同雷达定标情况不同,不能将功率谱密度直接进行对比,需要将功率谱密度通过雷达气象方程转化为回波强度功率谱后再进行对比。为保留功率谱密度特点的基础上除去空气小扰动,选择 3 个个例中 3 min 的时间区间并做时间平均,即 2016 年 5 月 15 日层状云过程选取时间段为 20:35-20:38、2016 年 5 月 8 日积层混合云过程选取时间段为 21:42-21:45、2016 年 5 月 10 日积雨云过程选取时间段为 03:11-03:14,高度仍选择 2.5 km,对比参量为峰值速度、最大回波强度谱密度、首信号探速、末信号探速、信号谱宽。对比情况见图 2,相关参量对比见表 2。

表 2 Ka 波段毫米波雷达、C 波段调频连续波雷达在 3 个个例回波强度谱密度中各个参量的对比

个例	设备	功率谱峰值速度/(m/s)	最大回波强度谱密度/(dBz·m·s <sup>-1</sup> )	首信号探速/(m/s)	末信号探速/(m/s)	信号谱宽度/(m/s)
龙门 2016.5.15 层状云过程	Ka-band	6.2	13.7	1.1	8.6	7.5
	C-band	6.1	12.8	1.1	8.6	7.5
龙门 2016.5.8 积层混合云过程	Ka-band	7.3	25.8	1.1	9.9	8.8
	C-band	7.2	25.2	1.2	10.9	9.7
龙门 2016.5.10 积雨云过程	Ka-band	8.6	37.7	1.5	11.7	10.2
	C-band	8.8	38.0	1.7	13.7	12.0

从图 2 及表 2 可以看出,在探测层状云过程中,两部雷达功率谱密度的峰值速度分别为 6.2 m/s、6.1 m/s,峰值速度对应的最大回波强度谱密度分别为 13.7 dBz/(m·s<sup>-1</sup>) 和 12.8 dBz/(m·s<sup>-1</sup>),两部雷达基本一致,首、末气象信号探速也非常吻合均为 1.1 m/s 和 8.6 m/s,说明对于层状云降水这种较为稳定的过程,两雷达对其探测的效果几乎没有差别。在探测积层混合云中,两者功率谱密度的峰值速度分别为 7.3 m/s、7.2 m/s,最大回波强度谱密度分别为 25.8 dBz/(m·s<sup>-1</sup>)、25.2 dBz/(m·s<sup>-1</sup>),仍然有很好的 consistency,首信号探速上也没有明显的差别,均约为

1.1 m/s,但连续波雷达在末信号的探速上达 10.9 m/s,毫米波雷达只有 9.9 m/s,导致连续波雷达在信号谱宽上比毫米波雷达要大 0.9 m/s。在探测积雨云过程中,两者功率谱密度峰值速度分别为 8.6 m/s、8.8 m/s,最大回波强度谱密度分别为 37.7 dBz/(m·s<sup>-1</sup>)、38.0 dBz/(m·s<sup>-1</sup>),首信号探速分别为 1.5 m/s、1.7 m/s,这 3 个参量对应较好,在末信号探速上,它们的差别再次加大,分别为 11.7 m/s 和 13.7 m/s,使信号谱宽度增加到 2.0 m/s。这种首信号探速几乎一致但末信号探速发生差别的原因即为米散射的影响,波长越短,受米散射的影响越严重,导致在

探测大粒径液滴时毫米波雷达严重失真。

### 3.3 雨滴谱分布对比

同样选择 3.2 中 3 个个例 3 min 时间平均后的功率谱密度数据,高度选择为 2.5 km,将功率谱密度去除空气垂直速度后获得静止大气下的功率谱密度,再通过静止大气下粒径与粒子下落末速度的关系转化为功率谱密度随粒子直径的分布,最后通过整体功率谱密度分布于每个粒径功率谱密度分布的关系计算出雨滴谱分布,并使用非线性最小二乘法进行雨滴谱分布的拟合,结果见图 3。

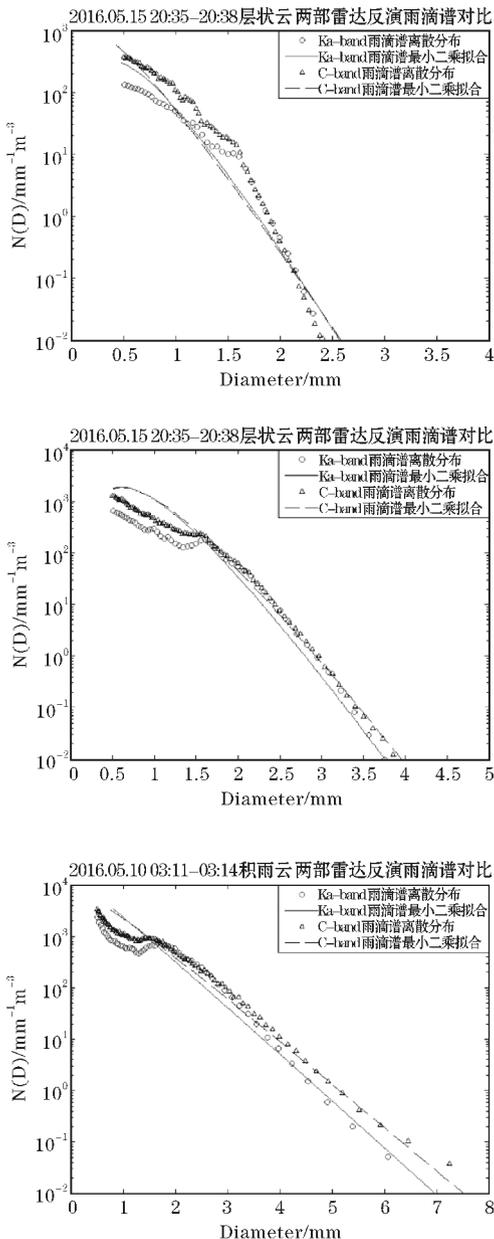


图3 Ka波段毫米波雷达、C波段调频连续波雷达在3个个例中反演的雨滴谱对比及使用非线性最小二乘拟合后的雨滴谱分布对比(取3 min 时间平均,高度为 2.5 km)

从图3可以看出,无论探测什么云系,连续波雷达

在小粒径区探测到的粒子数浓度都大于毫米波雷达,这可能是由于毫米波雷达波段宽度只有  $0.3^\circ$ ,而连续波雷达为  $2.6^\circ$ ,连续波能够探测到更广范围内粒子信息所造成,但最后对拟合曲线影响不大。对于雨滴谱最大粒径的探测,不同云系过程出现差距。在探测层状云过程时,两部雷达探测的最大粒径基本一致,均为 2.4 mm,拟合出的曲线对应得很好。在探测积层混合云时,毫米波雷达探测的最大粒径约为 3.7 mm,连续波雷达为 4.0 mm,此时两者已经出现了差别,从拟合的雨滴谱分布上可以看出毫米波雷达大约在 1.2 mm 粒径处,所探测的粒子数浓度开始小于连续波雷达。在探测积雨云时,两者对最大粒径的探测明显要大于前两个过程,毫米波探测最大粒径约为 7.0 mm,连续波雷达为 7.5 mm,此时两者在最大粒径的探测上差距进一步加大,通过拟合的雨滴谱分布上可以看出两者依旧是在粒径约为 1.2 mm 处发生差异。综上所述可知,Ka 波段毫米波雷达和 C 波段连续波雷达探测雨滴谱在粒径约为 1.2 mm 处发生差异,毫米波雷达探测粒径数浓度开始小于连续波雷达。这是由于米散射效应和衰减的影响,在同一个降水条件下,相比于 C 波段雷达,Ka 波段雷达更易收到米散射效应和衰减影响,最终导致粒径越大,雨滴谱的数浓度越小于真值,这与在 3.2 中获得的结论是一致的,故两者雨滴谱反演的差异是米散射和衰减对功率谱密度的影响所造成。

## 4 结论

利用 2016 年 4-5 月广东龙门的个例,讨论 Ka 波段毫米波雷达和 C 波段调频连续波雷达探测能力的差异,通过对比它们在不同特征云个例中雨滴谱的反演情况,得到如下结论:

(1) 由于 C 波段调频连续波雷达的波束宽度比 Ka 波段毫米波雷达大很多,所以在小粒径区的探测上,粒子数浓度大一些,但最终对雨滴谱分布的拟合影响较小。

(2) 在探测层状云时,两部雷达对雨滴谱的反演效果基本一致;在探测积层混合云及积雨云时,Ka 波段毫米波雷达反演的雨滴谱数浓度从粒径约为 1.2 mm 处开始小于 C 波段连续波雷达,这是由于 Ka 波段雷达波长更短,更易受米散射效应和衰减影响所造成。

(3) 米散射效应和衰减对雷达反演雨滴谱的影响本质上还是作用在功率谱密度上,最终导致大粒径雨滴谱反演的偏低及回波强度的偏低,故在雷达回波订正上可以考虑从功率谱密度入手进行订正。

## 参考文献:

- [1] 刘红燕,雷恒池. 基于地面雨滴谱资料分析层状云和对流云降水的特征[J]. 大气科学,2006,30(4):693-702.
- [2] 濮江平,张伟,姜爱军,等. 利用激光降水粒子谱仪研究雨滴谱分布特性[J]. 气象科学,2010,30(5):701-707.
- [3] 刘黎平,谢蕾,崔哲虎. 毫米波云雷达功率谱密度数据的检验和在弱降水滴谱反演中的应用研究[J]. 大气科学,2014,38(2):223-236.
- [4] 王晓蕾,阮征,葛润生,等. 风廓线雷达探测降水云体中雨滴谱的试验研究[J]. 高原气象,2010,29(2):498-505.
- [5] 黄兴友,何雨芬,刘俊. 风廓线雷达资料反演雨滴谱和水汽通量的研究[J]. 气象科学,2015,35(6):751-759.
- [6] 李淘. C-FMCW 雷达与地面激光雨滴谱仪联合反演降水微物理参数[D]. 成都:成都信息工程大学,2016.
- [7] Rogers R R. An extension of the Z-R relation for Doppler radars [C]. The 11th Weather Radar Conference AMS, Boston, MA., Goulder, Co., Sept., 1964:14-18.
- [8] Gunn R, Kinzer G D. The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. Journal of Meteorology. 1949, 6(4): 243-248.
- [9] Gossard E E. Measurement of cloud droplet size spectra by Doppler radar[J]. J. Atmos. Oceanic Technol., 1994, 11(3): 712-726.
- [10] Shupe, M D, P Kollias, et al. Deriving Mixed-Phase Cloud Properties from Doppler Radar Spectra [J]. J. Atmos. Oceanic. Technol, 2004, 65: 1304-1322.
- [11] 柳臣中,周筠璐,谷娟,等. 成都地区雨滴谱特征[J]. 应用气象学报,2015,(1):112-121.
- [12] 李宗飞,肖辉,姚振东,等. X波段双偏振雷达反演雨滴谱方法研究[J]. 气候与环境研究, 2015,20(3):285-295.
- [13] 李宗飞. 风廓线仪与双偏振雷达反演雨滴谱方法的对比研究[D]. 成都:成都信息工程学院, 2014.
- [14] 何越,何平,林晓萌. 基于双高斯拟合的风廓线雷达反演雨滴谱[J]. 应用气象学报,2014,25(5):570-580.
- [15] 宫福久,刘吉成,李子华. 三类降水云雨滴谱特征研究[J]. 大气科学,1997,21(5):96-103.
- [16] 郑娇恒,陈宝君. 雨滴谱分布函数的选择:M-P和Gamma分布的对比研究[J]. 气象科学, 2007,27(1):17-25.
- [17] 陈磊,陈宝君,杨军,等. 2009-2010年梅雨锋暴雨雨滴谱特征[J]. 大气科学学报,2013,36(4):481-488.
- [18] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2000.
- [19] 杨军,陈宝君,银燕,等. 云降水物理学[M]. 北京:气象出版社,2011.

## Comparisons and Analysis of Drop Size Distribution Retrieval by Different Bands Pointing Vertically Radars

SUN Hao<sup>1,2</sup>, LIU Li-ping<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In the study of micro cloud-physics, drop size distribution (DSD) is an important parameter, it has meaningful to understand the start mechanism in cloud, the inspection of artificial precipitation and so on. The paper used the cases in Guangdong Longmen in April and May 2016, discussed the differences of detection ability Ka-band millimeter radar and C-band frequency modulated continuous wave radar, compared the retrieval condition in different cases. The result is as follows: cause the beam width of C-band radar is larger than Ka-band radar, the particle number concentration of C-band is larger than Ka-band in small diameter area. But it has less influence on the DSD fitting. In the detection of stratiform cloud, the retrieval of DSD by two radars is basically the same. In the detection of cumulus mix cloud and convective cloud, the particle number concentration of Ka-band radar is less than C-band radar started at the diameter of 1.2 mm. In fact, the power spectrum density is effected by Mie scattering and attenuation, it lead to the decrease of particle number concentration in larger diameter and the decrease of echo intensity, so it maybe useful to make echo corrections in power spectrum density.

**Keywords:** Ka-band millimeter radar; C-band frequency modulated continuous wave radar; power spectrum density; drop size distribution retrieval