

云雷达反演层状云微物理参数及其与飞机观测数据的对比

刘黎平¹, 宗 蓉¹, 齐彦斌², 刘 健²

(1. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081;

2. 吉林省人工影响天气办公室, 吉林 130062)

[摘要] 首先根据滴谱假设分析了层状云降水回波强度、径向速度和速度谱宽与降水微物理参数的关系, 检验了云雷达探测数据的可用性; 然后在忽略空气上升速度和湍流对雷达观测的速度谱宽影响前提下, 利用测云雷达观测的回波强度、粒子下落速度和速度谱宽数据进行了液态水含量和滴谱参数的反演试验, 并与飞机观测的滴谱进行了对比分析。结果表明, 8 mm 雷达观测得到的 3 个量与雨滴谱分析得到的关系比较接近; 层状云粒子尺度、数密度和含水量从云顶到云的回波强中心有明显的变化, 粒子尺度的增加是回波强度增加的重要原因。毫米波雷达反演得到的降水微物理参数和飞机观测数据具有可比性。

[关键词] 云降水微物理参数; 毫米波云雷达和飞机观测; 降水粒子下落速度和谱宽

[中图分类号] P42 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)09-0064-08

1 前言

层状云降水是我国很多地区的降水系统, 是我国人工影响天气作业的主要目标, 也是影响气候变化的重要因素。毫米波雷达是探测云、弱降水三维结构以及微物理参数非常重要的手段, 与天气雷达(X、C 和 S 波段雷达)相比, 毫米波雷达具有更强的探测云和弱降水的能力。因为云和降水粒子的大小和下落速度不同, 造成了反演云参数和降水参数方法上的差异。通常云粒子半径在 $50 \mu\text{s}$ 以下, 它的下落速度比湍流速度和空气的速度小, 其回波强度通常小于 5 dBZ, 云粒子可以作为湍流运动的“示踪物”, 这样通过卷积的方法, 可以反演云粒子的滴谱分布和含水量等微物理参数^[1]。对于降水粒子(半径通常大于 $400 \mu\text{s}$), 在层状云降水条件下, 其下落速度远远大于湍流的速度和空气本身的速度, 这样就可以在忽略湍流对速度谱宽的贡献以及空气速度对雷达观测的径向速度影响的条件下, 利用回波强

度、速度和速度谱宽, 反演降水粒子的滴谱分布、含水量等微物理参数^[2]。利用快速傅里叶变化方法(FFT)可以得到功率谱分布, 利用这一数据, 可以区分云粒子和降水粒子的后向散射功率, 从而得到云和降水的谱和多种参数^[3,4]。

2008 年, 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室与中国航天科工集团公司第 23 所合作自主研发的我国第一部 Ka 波段地基多普勒/偏振毫米波雷达系统应用到了云和降水观测中, 获取到了我国极为珍贵的毫米波雷达资料, 开展了云和降水结构的分析工作, 并采用 Deng 类似的方法反演了冰相云粒子的微物理参数^[5,6]。目前, 还没有综合利用回波强度、径向速度和速度谱宽数据进行弱降水微物理结构反演的工作。彭亮^[7]和陈洪滨等利用美国大气辐射观测计(ARM)在中国寿县的云雷达观测资料开展了云的性质、云相态识别研究以及云内空气垂直速度反演的初步工作, 该工作也主要是研究内部湍流较小的冰云。

[收稿日期] 2012-06-26

[基金项目] 中国气象科学研究院基本科研业务经费“大气水凝物微物理参数及风场垂直结构多波长遥感探测和反演方法研究”、国家自然科学基金项目(40775021, 41075098); 863 项目“机载气象雷达云雨探测应用系统”(2007AA061901)

[作者简介] 刘黎平(1963—), 男, 河北顺平县人, 博士, 研究员, 研究领域为雷达气象; E-mail: lpliu@cams.cma.gov.cn

2010年7月,中国气象科学研究院与国家卫星气象中心合作,在天津开展了机载毫米波雷达、地基毫米波雷达和微波辐射计的联合观测;2010年8—9月,中国气象科学研究院与吉林省人工影响天气办公室合作,在吉林开展了飞机和地基毫米波雷达的云联合观测。文章将利用这些资料,首先检验雷达观测径向速度和速度谱宽分布的合理性,分析空气垂直速度的影响;然后利用 Frisch 提出的方法,反演层状云降水的滴谱参数和云水含量,并与飞机观测的云滴谱资料进行对比。

2 资料和云降水参数反演方法

云雷达是探测云和弱降水结构及其演变非常重要的工具。它通过朝特定的方向发射毫米波电磁波脉冲,并接收云和降水散射回来的电磁波,从而探测云降水的微物理结构。毫米波雷达的硬件结构与天气雷达类似,但探测功能却有一定的差别。天气雷达主要用来探测含有大的水凝物粒子降水系统的三维结构,特别是暴雨、冰雹、雷暴等系统的水平分布特征。与天气雷达相比,云雷达有几个特点,一是云雷达通常工作在毫米波段,比天气雷达的波长要短,这样更能够观测到小的云粒子和弱降水粒子,它对云和弱降水的探测能力要远远强于天气雷达;二是云雷达

通常以天线垂直指向方式进行观测,这样就能够得到云降水的更高精度的垂直结构及其演变,同时,具有多普勒功能的云雷达还能够探测到粒子的下落速度,从而反演云降水滴谱分布和空气的上升速度等。

2010年8—9月,中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室与吉林省人工影响天气办公室合作,在吉林开展了毫米波雷达和飞机联合观测层状云试验。在本次观测中,毫米波雷达(主要参数见表1,外形见图1)设置在伊通(125.283 3 °E,43.350 0 °N),并采用垂直观测方式,获取过顶云和降水的垂直结构参数。在这种观测方式下,雷达观测的径向速度为粒子的下落速度(含空气本身的垂直速度),而空气的水平速度对其没有影响;在忽略湍流的情况下,速度谱宽的主要贡献为降水粒子群速度的差异。飞机携带的仪器是 DMT 公司生产的云—气溶胶—降水光谱仪(CAPS),它包含3个探头,即云—气溶胶光谱仪(CAS)、云成像仪(CIP)和热线含水量仪(liquid water content sensor,LWC—100)。图2给出了飞机及其设备照片。其中1为被动腔气溶胶探头,2为降水粒子图像探头,3是飞机综合气象要素测量系统,4是云、气溶胶和降水粒子组合探头,它包括云和气溶胶探头、云粒子图像探头、热线含水量仪。

表1 地基 Ka(35 GHz)波段毫米波测云雷达系统主要指标
Table 1 Characteristics of the Ka band (35 GHz) cloud radar

参数			参数		
天线	直径	1.3 m	接收机	工作模式	单发双收
	增益	50 dB		灵敏度	≤ -98.4 dBm
	波瓣宽度	0.44 °		噪声系数	≤ 5.6 dB
	第一副瓣电平	小于 -30 dB		动态范围	70 dB
	交叉隔离度	大于 33 dB		距离库数	500
发射机	频段	Ka	库长	30 m,60 m	
	峰值功率	600 W	观测资料	Z、V _r 、S _w 、L _{DR}	
	脉冲宽度	0.3 μs、1.5 μs、20 μs、40 μs	处理方法	FFT、PPP	
	脉冲重复频率	2 500 Hz、5 000 Hz	FFT点数	128、256、512	
			数字脉冲压缩性能	旁瓣 < 30 dB	

2010年9月17日,有一次层状云降水过程经过毫米波雷达观测点,北京时间13:03—13:43期间雷达和飞机对本次过程进行了观测。飞机的飞行高度在海拔3 050 m左右,离毫米波雷达最近的水平

距离为15 km,最远距离为80 km。为了与雷达反演降水粒子的数浓度和含水量对比,文章用到的数据来自于探测范围为25~1 550 μm的CIP探头,以每档25 μm的分辨率分为64档。最终的降水粒子

总浓度(N_0)和降水粒子的液态水含量(LWC)都由这个组合谱计算得到。

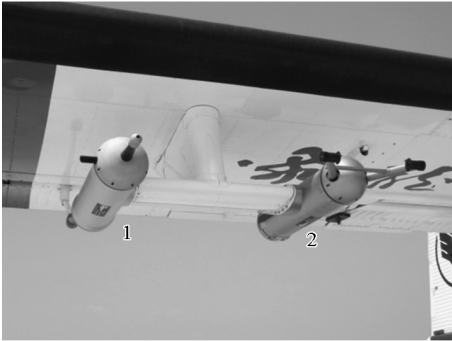


图1 参加外场试验观测的毫米波雷达

Fig.1 The cloud radar in field experiment



(a)



(b)



(c)

图2 飞机及其滴谱探头

Fig.2 The observation airplane and airborne equipment

子滴谱分布的原理简单介绍如下:毫米波雷达能够观测到回波强度、径向速度和速度谱宽数据,因采用了垂直观测模式,毫米波雷达观测的径向速度与粒子本身的下落速度和空气的上升速度有关,而降水粒子的下落速度又与其大小有关,粒子越大,其下落速度越大;速度谱宽反映了散射体内部降水粒子下落速度的差异和空气湍流的差异,而与空气的水平速度不相关。这样在忽略空气本身的上升速度(如层状云降水)和空气湍流影响的条件下(存在小的降水粒子条件下),就可以直接用毫米波雷达观测数据分析雨滴谱。文章采用了与 Gossard (1995) 相似的反演层状云降水微物理参数垂直廓线的方法。首先假设弱降水的滴谱分布符合正态分布

$$N(D) = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2}\right] \quad (1)$$

式(1)中, N 为降水粒子密度,个/ m^3 ; N_0 、 x_0 和 σ_x 分别为粒子的总的数密度、以对数形式表示的滴谱尺度和分布范围的参数; $x = \ln(D)$, D 为粒子直径;平均滴谱尺度 R_0 与 x_0 的关系为 $x_0 = \ln(R_0)$ 。

对于降水粒子(粒子半径的范围为45~400 μm),其半径(r)和下落速度(V_T)的关系可表达为

$$r = aV_T + b \quad (2)$$

式(2)中, a 、 b 为固定的参数, $a = 1.2 \times 10^{-4} s$, $b = 1.0 \times 10^{-5} m$ 。

在忽略空气本身的垂直气流和湍流产生的速度谱宽条件下,垂直指向的毫米波雷达观测的回波强度(Z)、径向速度(V_r)和速度谱宽(S_w)分别为

$$Z = \int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) \times D^6 dD \quad (3)$$

$$V_r = - \frac{\int_{D_{min}}^{D_{max}} V_T(D) \times N(D) \times D^6 dD}{\int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) \times D^6 dD} \quad (4)$$

$$S_w = \left[\frac{\int_{D_{min}}^{D_{max}} (V_T(D) - V_r)^2 \times N(D) \times D^6 dD}{\int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) \times D^6 dD} \right]^{1/2} \quad (5)$$

根据一般的规定,粒子的下落速度方向向下,而雷达观测的径向速度远离雷达为正,朝向雷达为负。

利用垂直指向观测的云雷达数据分析弱降水粒

这样,雷达观测的径向速度和粒子下落速度大小相等,符号相反。

这样就可以得到反演方法

$$\sigma_x = \frac{S_w}{V_r} \quad (6)$$

$$aV_r + b = R_0 \exp(13\sigma_x^2/2) \quad (7)$$

$$Z = 2^6 N R_0^6 \exp(18\sigma_x^2) \quad (8)$$

3 回波强度、径向速度和速度谱宽与降水微物理参数的关系研究

为了分析毫米波雷达资料的可用性,在一定范围内变化式(1)中的滴谱参数,就可以得到不同滴谱参数条件下的回波强度、下落速度和速度谱宽,并与雷达观测的数据进行对比,分析模拟和观测这两种回波强度、径向速度和速度谱宽的关系是否一致。图3给出了回波强度与粒子下落速度和速度谱宽

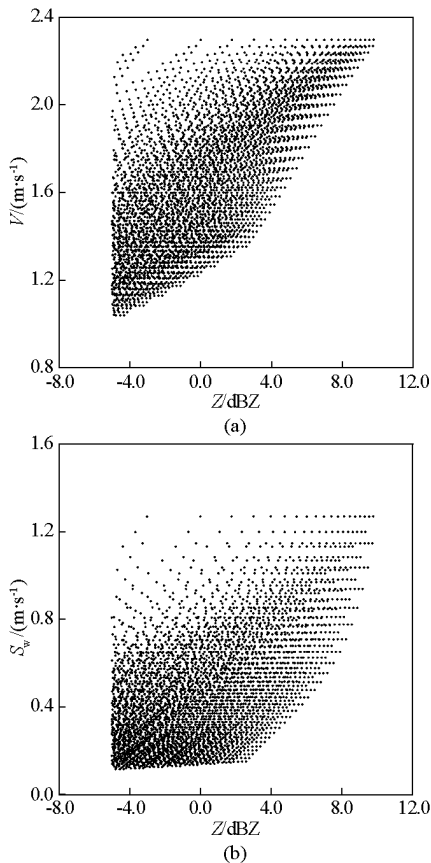


图3 正态分布滴谱假设情况下模拟得到的
(a)粒子下落速度和(b)速度谱宽与回波强度的分布图

Fig. 3 The simulated relationships of
(a) terminal fall velocity and (b) spectrum width with reflectivity

的模拟结果。图4为2010年9月17日12:31—14:54层状云弱降水过程毫米波雷达观测的结果。为了尽量减小空气本身垂直速度以及湍流对雷达观测的径向速度和速度谱宽的影响,对回波强度、径向速度和速度谱宽进行了5 min的平均。假定回波强度小于-5 dBZ是云的回波,它对应的粒子下落速度接近零,对应小于该阈值的回波,暂不做处理。从模拟和观测结果都可以看出,随着回波强度的增加,粒子的下落速度和速度谱宽都有增加的趋势,径向速度的变化范围在0.5~2.0 m/s,大部分速度谱宽落在0.4 m/s附近,不管从径向速度还是速度谱宽的取值范围和变化趋势,模拟结果和毫米波雷达的观测结果都比较一致,这说明毫米波雷达资料是可用的,而且本次过程的空气下落速度是可以忽略的。

利用模拟结果,得到了回波强度与液态水含量(LWC)的关系

$$LWC = 0.01289 \times Z^{0.559} \quad (9)$$

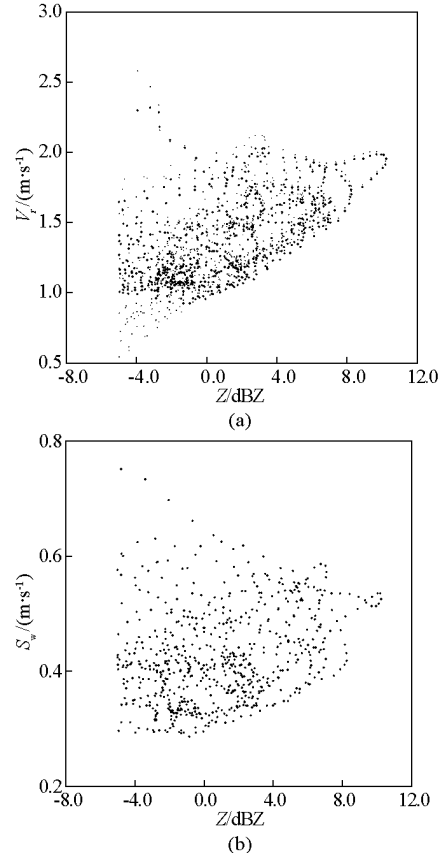


图4 2010年9月17日12:31—14:54层状云弱降水过程毫米波雷达观测的(a)回波强度与垂直速度和(b)回波强度与速度谱宽的分布图

Fig. 4 The observational relationships of (a) terminal fall velocity and (b) spectrum width with reflectivity by cloud radar during 12:31 - 14:54 on September 17, 2010

4 毫米波雷达观测及其反演结果分析

2009年毫米波雷达和飞机联合观测到了9月17日一次层状云降水过程。图5给出了长春C波段多普勒雷达观测到的北京时间13:30,3 km高度上的CAPPI(constant altitude plan position indicating,等高平面位置显示)回波强度分布图,图中用曲线标出了飞机飞行轨迹,用圆圈标出了毫米波雷达的观测位置。在毫米波雷达北部,有一条近似东西取向的层状云降水雨带,长300 km,宽度约为70 km,回波强度在0~20 dBZ范围内,该雨带向南移动,此次飞机飞行的路线为这条雨带的南部边缘区。

从毫米波观测结果来看,07:39—08:50时段,回波强度最大值为15 dBZ, -15 dBZ的回波顶高为8 km,从回波强度和退偏振因子图上可明显分辨出4.1 km高度上的零度层亮带,可以确定该过程为层状云降水过程;从10:00开始,强的回波强度(10 dBZ)高度开始下降,回波顶高也变低,整个降水系统变弱。图6给出了12:00—15:00时段毫米波雷达观测的回波强度和径向速度随时间的演变情况。从这一时段来看,云顶高度已经下降到5 km以下,云层厚度在3.5 km,而2.5 km高度上的回波强度最强,可达到15 dBZ。在近两个小时内(13:10—15:00),云顶、云底高度变化不大,同一高度层回波强度变化在10 dBZ以内。上部边缘对应的径向速度接近零,其他区域的径向速度为负值,表示粒子的速度向下。从回波结构和探空数据分析(见下文),本次过程为层状云弱降水。

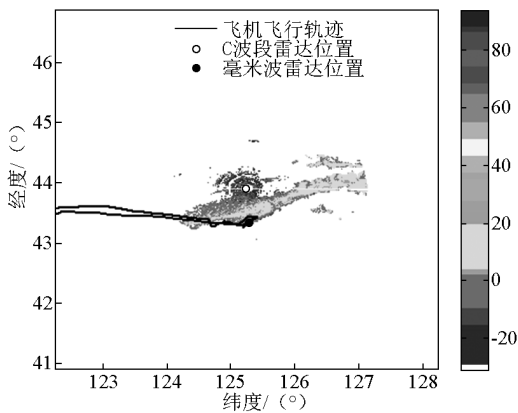


图5 长春雷达观测的9月17日13:30, 3 km高度上的回波强度的CAPPI(单位: dBZ)

Fig. 5 CAPPI for reflectivity at 3 km MSL at 13:30 on September 17th in Changchun(unit: dBZ)

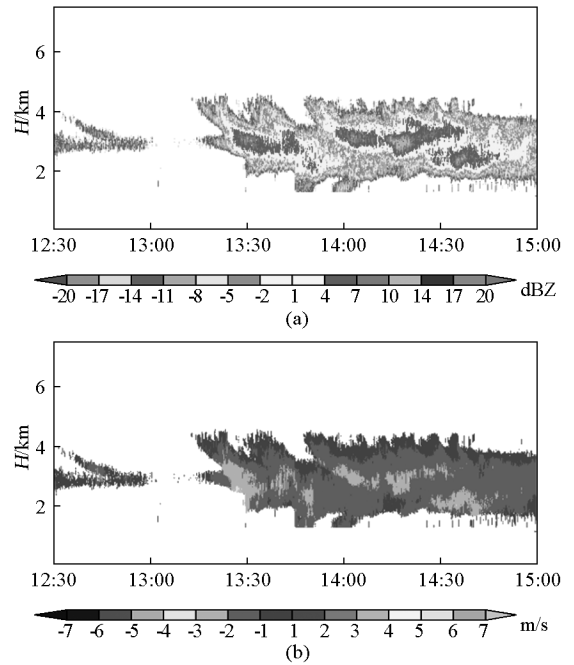


图6 12:00—15:00时段毫米波雷达以垂直观测方式观测的(a)回波强度和(b)径向速度的演变

Fig. 6 The (a) reflectivity and (b) velocity observed by the cloud radar with vertical point model during 12:00—15:00

图7给出了2010年9月17日13:15—13:20时段,回波强度、粒子下落速度和速度谱宽的时间平均的垂直廓线、反演的降水粒子总数密度(N_0)、液态水含量、粒子平均尺度 R_0 和粒子分布谱宽 σ_x 。从图中可以看出,雷达观测到的云顶高度在3.5 km,云的强中心在2.5 km,从云顶到强中心,回波强度和粒子下落速度有明显的增加,在此高度以下,回波强度很快减小;在0.5 km范围内,回波强度减小了16 dBZ,而下落速度基本保持不变;在整个高度层上,除1.7 km高度外,速度谱宽变化不明显。从反演的降水微物理参数看,从云顶到强的回波层,随着高度的减小,总数密度和分布谱宽明显减小,液体水含量变化不大,但粒子的平均直径明显增大。云顶3.5 km高度处, $N_0 = 1\ 000$ 个/ m^3 , $LWC = 0.045$ g/ m^3 , $R_0 = 30$ μm ;飞机观测高度3.1 km上, $N_0 = 100$ 个/ m^3 , $LWC = 0.04$ g/ m^3 , $R_0 = 70$ μm 。在回波强度最大的2.5 km, $N_0 = 2$ 个/ m^3 , $LWC = 0.015$ g/ m^3 , $R_0 = 180$ μm ,含水量和粒子数密度并没有随回波强度的增强而变大,反而减小,但平均尺度的增多反而使得回波强度增大。

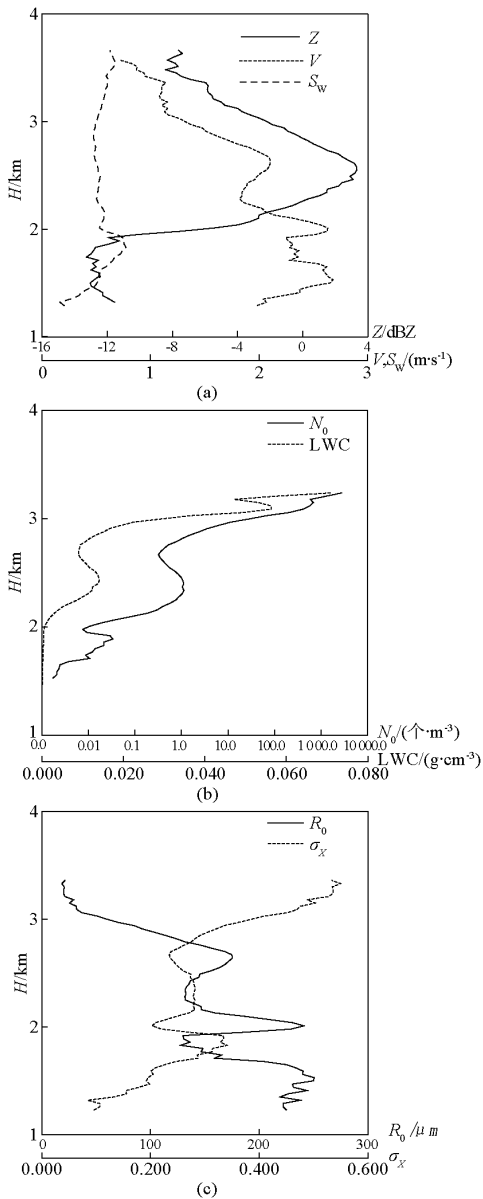


图7 2010年9月17日13:15—13:20时段毫米波雷达观测的(a)回波强度、垂直速度和速度谱宽、(b)反演的云参数 N_0 、LWC和(c) R_0 以及 σ_x

Fig. 7 Observed (a) reflectivity, velocity and spectrum width by cloud radar, (b) retrieved N_0 , LWC and (c) R_0 and σ_x during 13:15—13:20 on September 17, 2010

(2 km高度以下)的粒子下落速度明显减小,从上个时次的2.5 m/s减小到1.0 m/s。值得注意的是,速度谱宽在1.7 km高度处有一个明显的增加。

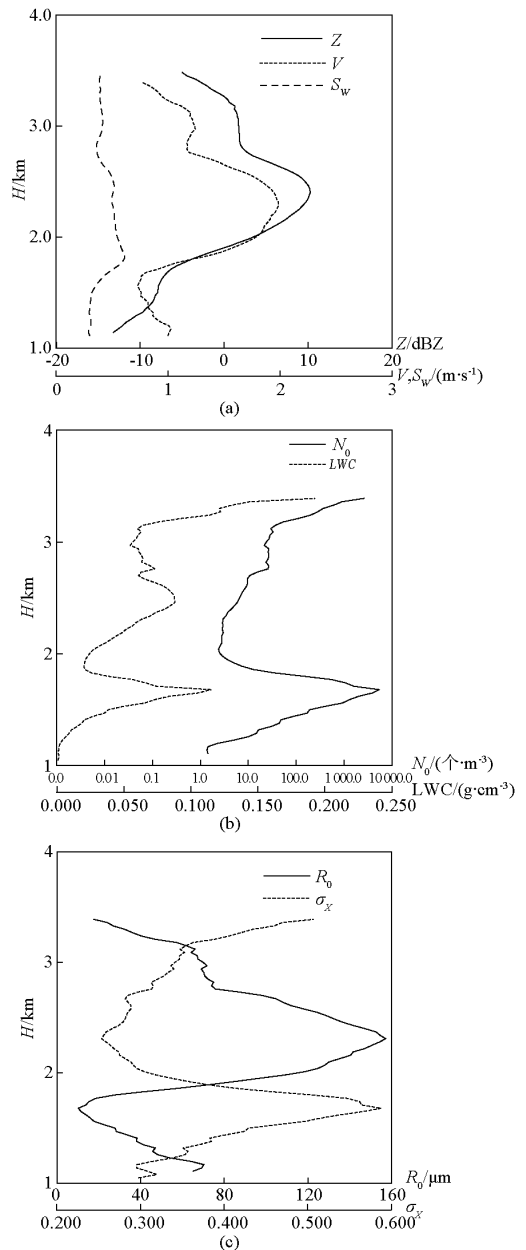


图8 2010年9月17日14:26—14:31时段毫米波雷达观测的(a)回波强度、垂直速度和速度谱宽、(b)反演的云参数 N_0 、LWC和(c) R_0 和 σ_x

Fig. 8 Observed (a) reflectivity, velocity and spectrum width by cloud radar, (b) retrieved N_0 , LWC and (c) R_0 and σ_x during 14:26—14:31 on September 17, 2010

图8给出了70 min后,14:26—14:31时段毫米波雷达观测的结果及其降水微物理参数反演的结果。与上一时刻的结果对比发现,该时刻最大回波强度增加了近6 dB,但回波强度的廓线的变化趋势没有变化。从粒子下落速度看,该时次的径向速度与回波强度的配置发生了一些变化,强回波下部

从反演的微物理结构来看,此时 $N_0 = 3\ 000$ 个/ m^3 , $LWC = 0.18$ g/ m^3 , $R_0 = 20$ μm ,与上个时刻相比,含

水量和粒子总的数密度有明显增加;飞机观测高度 3.1 km 上, R_0 和 LWC 基本没有变化, N_0 减小, 它们的取值分别为 $N_0 = 30$ 个/ m^3 , $LWC = 0.04$ g/ m^3 , $R_0 = 60 \mu m$, 与上个时次相比, 各个参数变化不大;在回波强度最大的 2.5 km, $N_0 = 5$ 个/ m^3 , $LWC = 0.08$ g/ m^3 , $R_0 = 120 \mu m$;与上个时次相比, 在这一层上含水量明显增加。从反演的这 3 个微物理随高度的变化趋势来看, 与上个时次相比, 改变不大。

在 1.7 km 高度上, 出现了 N_0 、LWC 的极大值和 R_0 的极小值, 这些值随高度均出现了明显的变化。上个时次也有类似的结果, 只是变化范围没有这次大而已。

从探空长春 08:00 的探空数据看, 本次过程为绝对稳定性层结, 没有产生对流的条件。抬升凝聚高度为 800 m, 在 850 hPa 和 700 hPa 之间存在很强的风切变, 环境风从 12 m/s 的东北风变为 8 m/s 的西南风, 850 hPa 的相对湿度为 52%, 为相对干的层。在 1.7 km 高度处速度谱宽的极大值与这一风切变有关, 空气本身的湍流增大了雷达探测的速度谱宽, 而速度谱宽的增加导致了反演的 R_0 减小、谱分布增大、LWC 和 N_0 增大。

从以上两个时次的微物理参数的反演结果可以看出, 两个时次回波强度、速度和速度谱宽的结构没有变化, 微物理参量随高度的变化趋势也基本一致。从云顶到回波的强中心, 粒子尺度 R_0 增加, 而含水量和数密度均呈减小的趋势。回波强度的增加与粒子尺度的增加有关。而在 1.7 km 处, 出现一个反向的变化可能与环境风的垂直切变有密切关系。这一结论基本与 Frisch 1995 年观测的结果一致。随着高度的降低, 粒子尺度增大, 粒子数和含水量减小。

5 毫米波雷达反演结果与飞机观测的对比分析

为了比较飞机观测的粒子数密度和液体含水量与雷达观测值的差异, 图 9 给出了飞机观测的粒子数密度和液态水含量随时间的变化, 在这一过程中, 飞机的飞行高度基本保持不变, 但距离雷达的位置一直在变化。为了减小观测值的波动, 对飞机观测资料进行 1 min 的平均。为了对比, 图 10 给出了雷达反演的 3.1 km 高度上 N_0 和 LWC 随时间的变化。飞机观测的液态水含量的变化范围在 0.01 ~ 0.07 g/ m^3 , 而雷达反演的同高度的液态水含量的变化范围在 0.04 ~ 0.1 g/ m^3 ; 在 13:12, 飞机离雷达最

近, 为 15 km, 此时, 飞机观测的 $LWC = 0.06$ g/ m^3 , $N_0 = 2500$ 个/ m^3 ; 雷达反演的 $LWC = 0.05$ g/ m^3 , $N_0 = 1100$ 个/ m^3 , 雷达反演和飞机观测的含水量和粒子总数密度比较接近; 13:20, 两者距离达到 50 km, 飞机观测的 $LWC = 0.03$ g/ m^3 , $N_0 = 5000$ 个/ m^3 ; 雷达反演的 $LWC = 0.07$ g/ m^3 , $N_0 = 500$ 个/ m^3 。

从以上结果可以看出, 雷达反演的液态水含量与飞机观测的比较一致, 而粒子数密度有一定差异, 但基本在同一量级上。除了两种观测方式位置有差别外, 雷达和飞机各自的观测误差、空气上升速度和湍流的影响等也不可忽视。

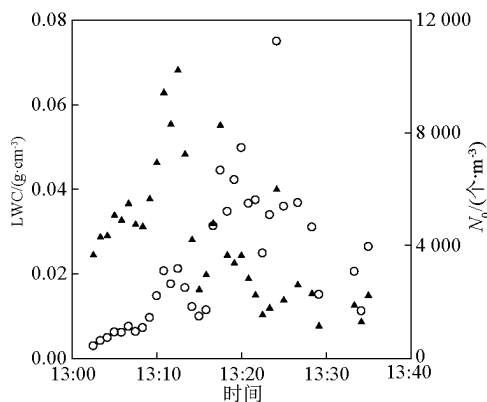


图 9 飞机观测的粒子数密度(空心圆)和液态水含量(实三角)随时间的变化

Fig. 9 Variations of N_0 (circle) and LWC (triangle) with time observed by aircraft

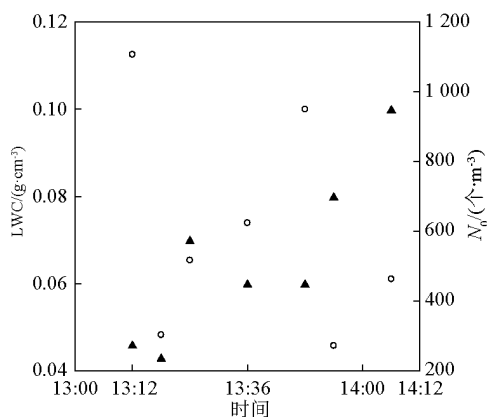


图 10 雷达反演的 3.1 km 高度上粒子数密度(空心圆)和液态水含量(实三角)随时间的变化

Fig. 10 Variations of N_0 (circle) and LWC (triangle) with time at 3.1 km retrieved by cloud radar

6 结语

文章利用中国气象科学研究院与吉林省人工影响天气办公室合作,在国内首次开展的毫米波雷达和飞机联合观测层状云试验的数据,通过数值模拟的方法分析了雷达资料的取值范围和相互关系,在忽略空气上升速度和湍流影响条件下,利用回波强度、速度和速度谱宽反演了层状云降水过程微物理参数,并与飞机观测进行了初步对比,得到如下结论:a.本次层状云过程从云顶到云回波强度的中心,降水粒子的平均尺度增大,而粒子数密度和含水量减小,降水粒子数的密度和含水量并没有随回波强度的增大而增大,回波强度的增强主要是粒子尺度增大的贡献。b.本次过程观测的回波强度、粒子下落速度和速度谱宽与模拟结果相吻合。c.飞机观测的降水粒子参数变化和雷达反演结果在量级上和时间变化上有一致性。d.环境风的垂直切变引入的速度谱宽变化是造成反演误差的重要因素。

由于资料的限制和其他观测手段的欠缺,本工作只是一个阶段性的工作总结,部分结果还需要更多数据的检验和验证。

参考文献

- [1] Deng M, Gerald G M. Cirrus microphysical properties and air motion statistics using cloud radar Doppler moments, part I: algorithm description [J]. *J A M and Climat*, 2006, 45: 1690 - 1709.
- [2] Frisch A S, Fairall C W, Snider J B. Measurement of stratus cloud and drizzle parameters in ASTEX with a K_a -band Doppler radar and a microwave radiometer [J]. *J Atmos Sci* 1995, 52: 2788 - 2799.
- [3] Gossard E E. Measurement of cloud droplet spectra by Doppler radar [J]. *J Atmos Oceanic Technol*, 1994, 11: 712 - 726.
- [4] Gossard E E, Snider J B, Clothiaux E E, et al. The Potential of 8 mm radars for remotely sensing cloud drop size distributions [J]. *J Atmos Oceanic Technol*, 1997, 14: 76 - 87.
- [5] Zhong Lingzhi, Liu Liping, Sheng Feng, et al. A 35 GHz polarimetric Doppler radar and its application in observing clouds associated with typhoon [J]. *Advanced Atmospheric Sciences*, 2011, 28: 945 - 956.
- [6] Zhong Lingzhi, Liu Liping, Deng Min, et al. Retrieving microphysical properties and air motion of cirrus based on the Doppler moments method by using cloud radar [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2011, doi: 10. 1007 / s00376-011-0112-x.
- [7] 彭亮. 利用 ARM 云雷达及其他相关仪器观测分析研究云的性质[D]. 北京:中国科学院, 2010.

Microphysical parameters retrieval by cloud radar and comparing with aircraft observation in stratiform cloud

Liu Liping¹, Zong Rong¹, Qi Yanbin², Liu Jian²

(1. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Jilin Weather Modification Office, Jilin 130062, China)

[Abstract] The relationships among reflectivity, velocity and spectrum width of stratiform cloud are simulated, and the availability of cloud radar data are analyzed. The reflectivity, velocity and spectrum width observed by cloud radar in vertical observation model are used to retrieve the liquid water content and the size distribution in stratiform cloud under the assumption of neglecting the air vertical speed and turbulence. The results show that the relationships among reflectivity, velocity and spectrum width observed by 8 mm cloud radar are similar to simulated values. The mean drop size, total drop number and liquid water content have obvious variations from cloud top to reflectivity center. The increase of reflectivity is due to the increase of drop size. The microphysical parameters retrieved by cloud radar have similar range with that by aircraft.

[Key words] microphysical parameters of cloud and precipitation; cloud radar and aircraft observations; terminal fall velocity and spectrum width of hydrometers