

文章编号: 2096-1618(2022)05-0544-07

机载降水云雷达的数据质量控制

左懂飞^{1,2}, 杨 玲¹, 丁德平², 赵德龙²

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 北京市人工影响天气中心, 北京 100089)

摘要:利用机载降水云雷达(Ka-band precipitation cloud radar, KPR)进行穿云观测,对 KPR 的数据质量进行以下研究:(1)由于 KPR 探测的原始数据存在很多背景噪声,对 KPR 的产品图采用高斯滤波进行去噪。(2)KPR 的探测视角是以飞机为基准,为更好判断云顶、云底等信息,对 KPR 产品进行了飞机轨迹订正,并采用二次样条插值消除了飞机轨迹上的噪声和增益。(3)受飞机运动的影响,KPR 测得的多普勒速度和频谱宽度与实际存在较大的误差,通过相关算法完成了多普勒速度和谱宽的订正。通过数据质量控制,KPR 的产品质量得到明显改善。

关键词:机载降水云雷达;高斯滤波;轨迹订正;二次样条插值;多普勒速度;谱宽

中图分类号:TN959.4

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.05.010

0 引言

云是大气中水汽达到饱和后,通过凝结或凝华悬浮在空中一定高度上的由水滴、过冷水滴或冰晶组成的混合物。云的形成与消亡伴随着大气垂直运动以及潜热释放和吸收,反映大气的热力和动力过程,通过形成、发展、移动及消散过程参与全球水循环。云作为重要的气候因子,通过辐射强迫效应调节地气系统的能量收支平衡^[1-2]。

过去,国内外学者主要利用地基遥感设备(雷达、微波辐射计等)来研究云微物理参数^[3-6],后来飞机作为在线观测平台^[7-9]被广泛应用。为解决地基雷达与飞机在线观测在时空上两者无法同时连续的问题,怀俄明大学研制了机载云雷达^[10],集合飞机在线探头更加精细化地研究了云的宏微观特征。机载探测设备可以直接进行穿云实验,获取云内微物理参数,对理解研究云的形成、云微物理参数以及对人工影响天气的指导和评估都起着重要作用。

机载雷达在观测过程中,可以根据云层位置,在不同的云层高度进行穿云探测,具有较强的灵活性。目前,常见的机载云雷达有机载 Ka 波段云雷达、机载 W 波段和 X 波段雷达。2010 年,商建等^[11]利用 GPS 探空数据和地基 12 通道微波辐射计观测亮温分析得到的液态水廓线,对实验中的机载 Ka 波段降水雷达进行衰减订正。吴琼等^[12]利用机载双频雷达(Ku/Ka 波段)进行了降水反演算法的相关研究。陈廷娣等^[13]利

用 TRMM 卫星与机载雷达对降雨数据进行了对比分析。Pazmany 等^[14]利用机载 W 波段雷达和 GVR 进行云参数的反演。Wolde 等^[15]利用 NRC 的机载 W 波段、X 波段雷达和 183 GHz G 波段水汽辐射计(GVR)进行观测,并使用在线云物理测量数据,验证机载 W 波段雷达和 GVR 反演是否一致。Damiani 等^[16]利用机载雷达收集的数据,开发了一种新技术,并将其用于二维风场的合成。

1 机载降水云雷达简介

机载降水云雷达(Ka-band precipitation cloud radar, KPR)安装在北京市人工影响天气中心 King-air350 飞机探测平台上,是美国 ProSensing Inc 公司生产的一种机载云雷达,是一个装在粒子测量系统(PMS)中的紧凑型、双波束、固态发射机的多普勒雷达。KPR 安装在北京市人工影响天气中心空中国王飞机的机翼上(图 1),KPR 具体参数如表 1 所示。KPR 传输线性调频波形和频率为 60 MHz 的短脉冲偏移两种波形,利用 10 W 峰值功率固态放大器来传输调制这两个长短脉冲,计算两个脉冲间的接收信号。线性调频波形用于远距离测量,而短脉冲用于近距离测量,将长短脉冲结合可提高灵敏度。KPR 有两个天线,一个向上,一个向下,采用线性极化平板阵列,用于在飞机上方和下方进行测量,可连续观测云的水平垂直结构变化。KPR 使用标准脉冲对算法测量反射率(dBZ)、多普勒速度和多普勒宽度。



(a)空中国王飞机探测平台



(b)KPR固态发射机以及上下两个天线



(c)KPR安装在空中国王的机翼上

图 1 机载降水云雷达

表 1 KPR 参数

参数	参数值
工作频率	35.64 GHz±30 MHz
发射功率	10 W
最大发射占空比	10%
脉冲重复频率	20 kHz
TX 脉冲持续时间	100 ns ~ 10 μs
天线增益	32.5 dBi
天线带宽	4.2°
天线第一副瓣电平	-23 dB
接收机噪声系数	3 dB
雷达产品	反射率,多普勒速度,多普勒频谱宽度

2 工作原理

KPR 可以在多种模式下工作,包括脉冲对处理和 FFT 全频谱处理。在脉冲对模式下,KPR 分为 3 种工作模式:在 Up 模式下(图 2a),雷达只通过向上的天线发射和接收信号;在 Down 模式下(图 2b),雷达只通过向下的天线发射和接收信号;在 Up&Down 模式下(图 2c),雷达通过向上和向下的天线交替发射和接收信号。一般情况默认使用上下天线同时测量。

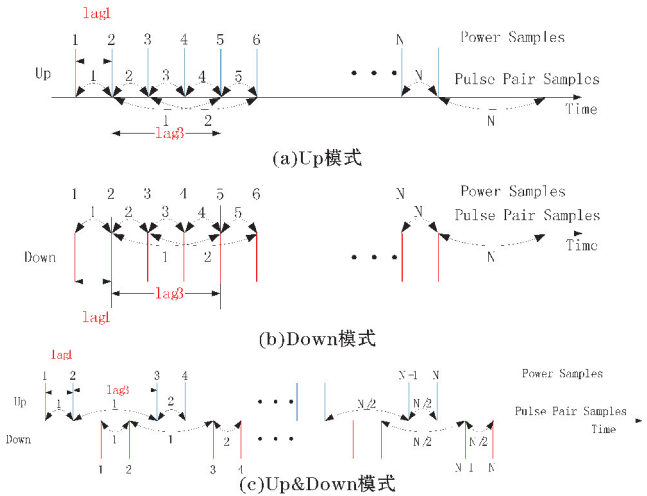


图 2 KPR 的 3 种工作模式

多天线机载气象雷达的扫描停留时间较短,而脉冲对返回信号的传输和处理非常适合这样短的数据采集时间。在脉冲对模式下,计算 lag-0 ($m=0$) 和 lag-1 ($m=1$) 和 lag-3 ($m=3$) 的信号相关性。在这些变量中,有信号功率、相干信号功率以及多普勒速度和谱宽。使用脉冲序列,可以测量在 lag-0 和 lag-1 和 lag-3 时雷达接收信号的复数自相关函数 $R(mT_s)$,进而可以估计出雷达的反射率、多普勒速度和谱宽。

$$R(mT_s)=P_s\rho(mT_s)e^{j\varphi_D}+P_n\delta_m \tag{1}$$

其中, P_s 和 P_n 分别为信号功率和噪声功率, $\rho(mT_s)$ 为相关系数,而

$$\delta_m=\begin{cases} 1, m=0 \\ 0, \text{其他} \end{cases} \tag{2}$$

φ_D 是以弧度表示的相移,根据多普勒速度可知,
$$\varphi_D=\frac{4\pi V_D mT_s}{\lambda}, \lambda$$
 是雷达的波长。因此多普勒平均速度可由相关相位估计得到,即

$$V_D=\frac{\varphi_D\lambda}{4\pi mT_s} \tag{3}$$

谱宽 σ_D 可根据高斯形状的天气信号功率谱近似于:

$$\sigma_D\approx\frac{\lambda}{2\pi mT_s\sqrt{2}}\left|\ln\left(\frac{P_s}{|R(mT_s)|}\right)\right|^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

和大多数天气雷达一样,KPR 也是通过相关的技术校准提供等效的雷达反射率因子:

$$Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)=\eta\frac{\lambda^410^{18}}{\pi^5|K|^2} \tag{5}$$

其中:

$$\eta(\text{m}^2/\text{m}^3)=P_{V_m}r^2C_\eta \tag{6}$$

$$C_{\eta}=\frac{1024\pi^2l_r\ln2}{P_tG^2G_{\text{rec}}\lambda^2c\tau\theta_{3\text{dB}}^2}\tag{7}$$

$K=\frac{n^2-1}{n^2+1}$, n 是水的复折折射率, P_{Vm} 是测量到的功率, 因此有

$$Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)=P_{Vm}r^2\frac{1024\lambda^2l_r\ln2}{P_tG^2G_{\text{rec}}\pi^3c\tau\theta_{3\text{dB}}^2|K|^2}10^{18}\tag{8}$$

雷达反射率因子可以用 C_{η} 和测得的功率表示为

$$Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)=P_{Vm}r^2C_{\eta}\frac{\lambda^4}{\pi^5|K|^2}10^{18}\tag{9}$$

定义一个新的校准常数 C_z , 通过合并 $C_{\eta}\frac{\lambda^4}{\pi^5|K|^2}10^{18}$, 并将 r 的单位转换为 km , 即有

$$C_z=C_{\eta}\frac{\lambda^4}{\pi^5|K|^2}10^{24}=\frac{1024\lambda^2l_r\ln2}{P_tG^2G_{\text{rec}}\pi^3c\tau\theta_{3\text{dB}}^2|K|^2}10^{24}\tag{10}$$

最后可得校准后的雷达反射率因子:

$$\text{dBZ}(\text{mm}^6/\text{m}^3)=P_{Vm}(\text{dBm})+20\lg[r(\text{km})]+10\lg(C_z)\tag{11}$$

3 KPR 轨迹订正及杂波滤除

图 3 和图 4 是 KPR 探测到的两个不同云类型的原始产品图。KPR 显示的视角是以飞机位置为基准(显示高度为 0 km), 向上探测高度值为正, 向下探测高度值为负, 上下各有 516 个距离库, 库长为 15 m, 剔除掉无用的距离库(上下各 51 个), 总距离库为 930 个, 探测范围约为 13950 m。

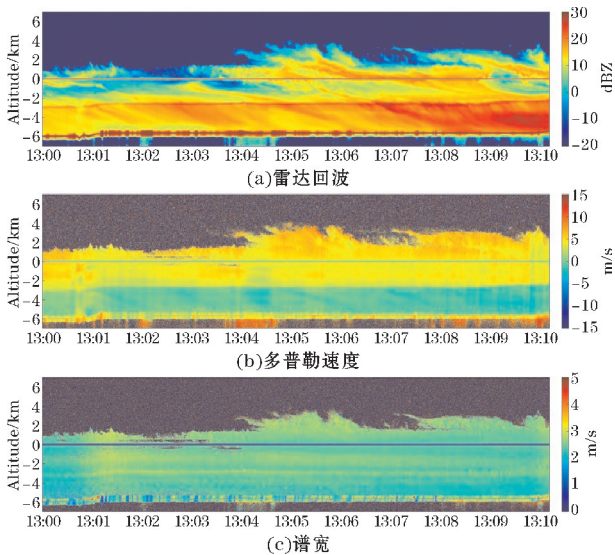


图 3 2019 年 10 月 22 日 KPR 原始产品图

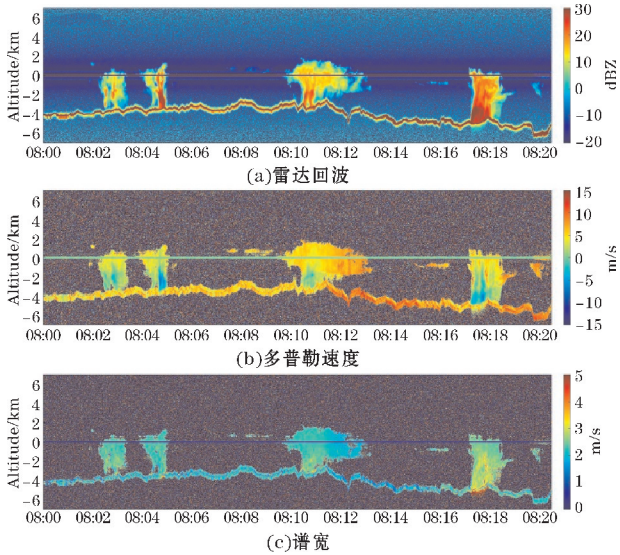


图 4 2019 年 9 月 21 日 KPR 原始产品图

从 KPR 的产品图可以看出, 在无云处存在很多的背景噪声, 为消除其他区域杂波的影响, 需要对 KPR 原始产品进行滤波处理。而高斯滤波器是一种线性滤波器, 能有效抑制噪声, 平滑图像。其原理是取滤波器窗口内的像素的均值作为输出, 高斯滤波器的模板系数, 随着距离模板中心的增大而减小, 对图像的模糊程度较小。

对于高斯滤波, 二维高斯函数(原点为中心):

$$h(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}\tag{12}$$

其中 (x,y) 为点坐标, 在图像处理中可认为是整数, σ 是标准差。要想得到一个高斯滤波器的模板, 可以对高斯函数进行离散化, 得到的高斯函数值作为模板的系数。对于窗口模板的大小为 $(2k+1)\times(2k+1)$, 模板中各个元素值的计算公式如下:

$$H_{i,j}=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{(i-k-1)^2+(j-k-1)^2}{2\sigma^2}}\tag{13}$$

其中, σ 是高斯滤波器最重要的参数, σ 越大, 高斯滤波器的频带就较宽, 对图像的平滑程度就越好。通过调节 σ 参数, 可以平衡图像的噪声抑制和图像的模糊。通过高斯滤波, 可以滤除掉 KPR 产品图中多余的背景噪声。

KPR 的原始产品图是以机载雷达为中心的扫描视角, 与常规的基地云雷达的产品图存在明显差异, 为更好地判断云顶云底等信息, 需要把机载雷达的产品图转换为地面观测形式, 因此需对飞机轨迹进行订正。根据机载气象探测系统(AIMMS-20)记录的飞行高度, 轨迹订正将 KPR 探测的高度值订正到海拔高度上。KPR 的时间分辨率为 0.2 s, 而 AIMMS-20 的时间分辨率是 1 s, 将两者进行时间匹配, 以获取每个径向上对应的飞机高度。KPR 记录的高度是每个径向下距离

库到飞机的距离,根据每个径向上的飞机飞行高度依次减去(加上)飞机下方(上方)每个距离库到飞机的距离就可以得到飞机下方(上方)真实的海拔高度。

当 KPR 上下扫描时,在飞机上下300 m左右存在一个探测盲区,这是由于 KPR 在发射和接收脉冲信号时,产生的噪声和增益使得飞机轨迹处的探测值较大。为了剔除飞机轨迹处的噪声,获取真实的探测数据,采用二次样条插值,对飞机轨迹处的噪声和增益进行处理。

图5和图6分别为20191022和20190921架次经过数据质控制后的 KPR 产品图,可以看出消除了背景噪声的干扰,产品图质量明显改善,能更清晰地看出云回波的整体轮廓。经过二次样条插值,消除了飞机轨迹噪声和增益,获得飞机轨迹处真实的雷达产品数据。

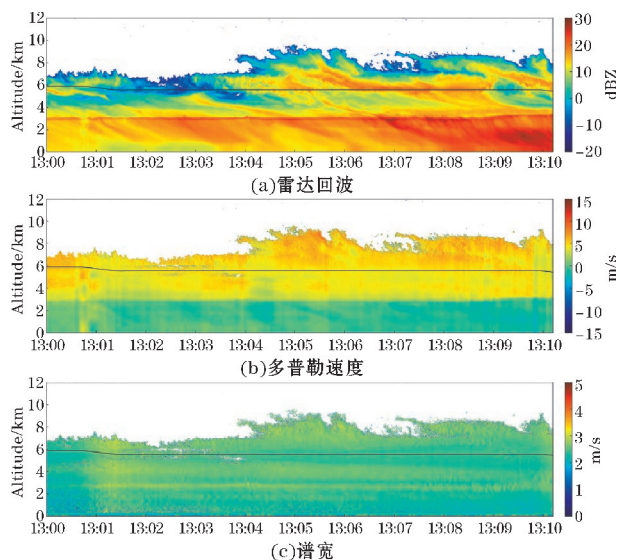


图5 2019年10月22日 KPR 高斯滤波和轨迹订正后的产品图

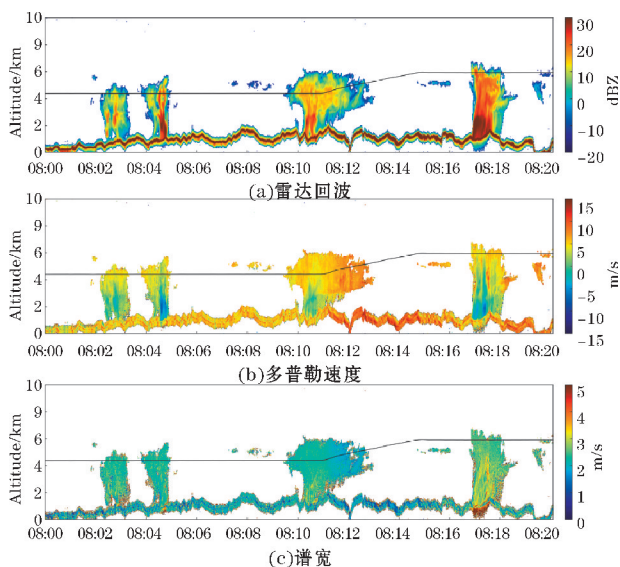


图6 2019年9月21日 KPR 高斯滤波和轨迹订正后的产品图

对于图5(a),KPR 探测到的云类型为层状云降水,在海拔3 km左右有一条清晰的融化层亮带,该时段飞机主要位于海拔5.8 km,降水较为稳定。对于图5(b),速度图在融化层上下有明显的“分层”现象,在融化层以上速度值较大,约5~8 m/s,在融化层以下,速度值较小,约2~-2 m/s。对于图6(a),KPR 探测到的云类型为对流云降水,可以看出,本次共观测到4个对流云单体。从时间序列上结合回波强度来看,第1、3个单体回波相对较弱,还处在发展中,而第2、4个对流云单体回波整体较强。在海拔2 km左右,最大回波达到了35 dBZ,相对发展成熟。由于对流云不稳定,没有融化层亮带的形成,速度图没有明显的“分层”现象,对于图6(b),KPR 测量的速度值约为-3~8.5 m/s。

一般情况,在融化层以上,云中粒子多为冰晶雪花,粒子下落速度较小,而在融化层,云中多为尺度较大的降水粒子,下落速度较大。但是结合 KPR 测量的速度图来看,这与实际情况不符,主要是因为 KPR 安装在飞机上,导致 KPR 测量的多普勒速度受飞机运动的影响。在下一节中,将对测量的多普勒速度和谱宽进行订正。

4 多普勒速度和谱宽的订正

多普勒速度是在天线波束方向测量的,因此,速度图是测量水成物的垂直速度。原始的多普勒速度和谱宽数据受飞机运动的影响,需要对原始的多普勒速度和谱宽进行修正。

当雷达安装在一个移动平台上(如飞机),通常会有一个小的偏移,导致天线波束相对于飞机速度矢量倾斜。多普勒速度的偏移:

$$V_{\text{offset}} = V_0 \sin(\theta_{\text{offset}}) \approx V_0 \theta_{\text{offset}} \quad (14)$$

其中, θ_{offset} 是 KPR 天线波束相对垂直于飞机速度矢量的偏移量,为了得到订正后的多普勒速度,结合式(14),有

$$V' = V - V_{\text{offset}} \quad (15)$$

其中, V' 为修正后的多普勒速度, V 为修正前原始的多普勒速度。

原始数据测得的谱宽 σ_v 是由水成物谱宽(σ_s)和平台运动产生的谱宽组合(σ_{PM})而成,即

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_{\text{PM}}^2} \quad (16)$$

平台运动引起的谱宽可以从天线波束宽度和飞机的速度中估计出来,天线主波束分布可近似为高斯分布:

$$G_{\text{ant}} \propto \exp\left(-\frac{\theta^2 4 \ln 2}{\theta_{3\text{dB}}^2}\right) \quad (17)$$

天线的方向近似垂直于平台的速度矢量,有限天

线波束宽度产生的多普勒速度与平台速度 $\theta V_0 = v$ 和以弧度表示的波束角度 θ 有关(假设小于0.1)。假设散射体在样品体积中分布均匀,运动诱导的多普勒速度谱形状可以近似为

$$S(v) \propto G_{\text{ant}}^2 \propto \exp\left(\frac{v^2}{v_0^2} \frac{8 \ln 2}{\theta_{3\text{dB}}^2}\right) = \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma_{\text{PM}}^2}\right) \quad (18)$$

其中,由于平台运动产生的标准谱宽 σ_{PM} 为

$$\sigma_{\text{PM}} \approx \frac{0.0733 V_0}{4 \sqrt{\ln 2}} \quad (19)$$

KPR 天线的半功率波束宽度为 4.2° ,约等于0.0733 rad,即

$$\sigma_{\text{PM}} \approx \frac{0.0733 V_0}{4 \sqrt{\ln 2}} = 0.022 V_0 \quad (20)$$

因此,对于 KPR 则有

$$\sigma = \sqrt{\sigma_v^2 - 0.000484 V_0^2} \quad (21)$$

根据以上相关理论,可以对原始速度和谱宽进行订正。图7(a)为20191022架次订正后的多普勒速

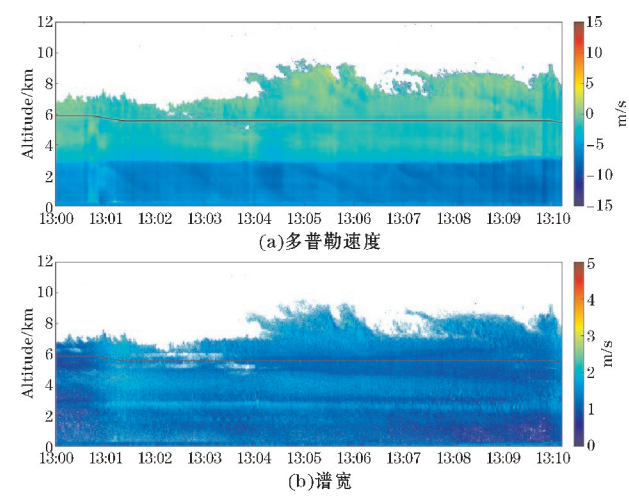


图7 2019年10月22日架次订正后
KPR 的多普勒速度和谱宽

度,在融化层以上,由于温度低于0℃,云中粒子更多的是以冰相粒子(冰晶、雪花)的形式存在,冰相粒子的下落速度较小,从图中可以看出,融化层以上,粒子下落速度在-1~1 m/s。在融化层以下,存在着降雨,粒子下落速度比较大,在-6 m/s左右。订正后的多普勒谱宽如图7(b),谱宽较高的区域可能是因为该区域有较高的湍流,也可能是因为不同尺度的降雨粒子产生不同大小的速度。即小液滴下落速度低,谱宽小,大液滴有较大的下落速度,谱宽大。

图8(a)为20190921架次订正后的多普勒速度,第1、2、4个对流云单体,粒子下落速度在-8~2 m/s,特别是在海拔4 km以下的对流区域,存在较大的雨滴,此时粒子下落速度较大,约为-4~-8 m/s;在4 km以上,粒子下落速度较小,约为-2~1.5 m/s。对于第3个对流云单体,在海拔4 km以下,云中粒子速度约为-6~4 m/s;在4 km以上,粒子下落速度约为-2~2 m/s。订正后的多普勒谱宽如图8(b)所示,谱宽较大的区域可能是由于不同尺度的降雨粒子产生不同大小的速度导致的。

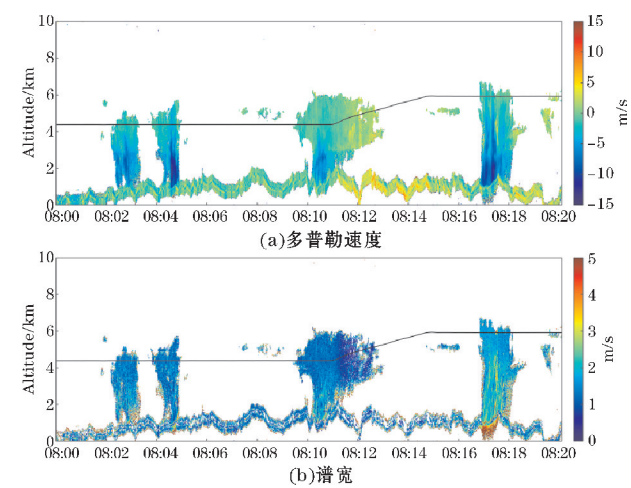


图8 2019年9月21日架次订正后
KPR 的多普勒速度和谱宽

表2 KPR 数据质量控制前后结果对比

类别	平均反射率 /dBZ	反射率标准 差/dBZ	平均多普勒 速度/(m·s ⁻¹)	多普勒速度标准 差/(m·s ⁻¹)	平均谱宽 /(m·s ⁻¹)	谱宽标准差 /(m·s ⁻¹)
数据质控前	16.04	9.81	0.52	15.64	2.83	3.26
数据质控后	11.26	8.45	-5.42	14.37	1.37	1.46

本文统计了数据质控前后飞机轨迹探测盲区附近300 m处的反射率的均值和标准差以及所有高度上速度和谱宽的均值和标准差^[16]。从表2可以看出,订正前后的反射率平均值分别为16.04 dBZ、11.26 dBZ,标准差分别为9.81 dBZ、8.45 dBZ,消除了轨迹噪声的干扰,反射率平均值和标准差分别下降了4.78 dBZ和

1.36 dBZ。订正前后的多普勒速度平均值分别为0.52 m/s、-5.42 m/s,标准差分别为15.64 m/s、14.37 m/s,多普勒速度平均值和标准差分别下降了5.9 m/s和1.27 m/s。订正前后的谱宽平均值分别为2.83 m/s、1.37 m/s,标准差分别为3.26 m/s、1.46 m/s,谱宽平均值和标准差分别下降了1.46 m/s

和1.8 m/s。经过数据质量控制,订正后的速度和谱宽质量明显改善,但也存在一定误差,其主要原因是飞机姿态的未知误差和 KPR 波束指向矢量精度较低^[10]。

5 结束语

介绍了北京市人工影响天气中心 King-air350 飞机探测平台上搭载的新型机载降水云雷达,对 KPR 的工作原理以及相关技术指标进行了说明。通过收集到的两个不同架次的数据,对 KPR 的产品进行了滤波处理与飞机轨迹订正,完成了多普勒速度和谱宽的订正。结果表明,经过滤波处理与飞机轨迹订正的 KPR 产品图,质量明显改善,能更清晰直观地获取云的宏观特征。订正后的速度和谱宽质量明显改善,但也存在一定误差,在后续的工作中,考虑结合地基雷达进行匹配,或根据粒子下落速度与直径的关系,开发出一套更合理的算法来实现更精准的订正效果。

相较于地基雷达,KPR 有着较高的分辨率和探测灵活性,能克服时空匹配,更好的结合飞机在线测量进行联合观测,具有很高的利用价值,能更加精细化的研究云的宏微观特征。在未来的工作中,我们会通过雷达数据对比分析与反演,联合飞机在线测量,进一步给出详细分析。

参考文献:

- [1] Cess D, Potter L, Blanchet P, et al. Interpretation of cloud-climate feedback as produced by 14 atmospheric general circulation models [J]. Science, 1989, 245(4917): 513–516.
- [2] Zhou C, Zelinka D, Klein A. Impact of decadal cloud variations on the earth's energy budget [J]. Nature Geoscience, 2016, 9: 871–874.
- [3] Moran P, Martner E, Post J, et al. An unattended cloud-profiling radar for use in climate research [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(3): 443–455.
- [4] Kollias P, Clothiaux E, Miller A, et al. Millimeter-wavelength radars – New frontier in atmospheric cloud and precipitation research [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2007, 88(10): 1608–1624.
- [5] Wang Z. A refined two-channel microwave radiometer liquid water path retrieval for cold regions by using multiple-sensor measurements [J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2007, 4(4): 591–595.
- [6] Turner D, Clough A, Liljegren C, et al. Retrieving liquid water path and precipitable water vapor from the Atmospheric Radiation Measurement (ARM) microwave radiometers [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2007, 45: 3680–3690.
- [7] Korolev V, Strapp W, Cober G, et al. Quantification of the effects of shattering on airborne ice particle measurements [J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2013, 30: 2527–2553.
- [8] Maahn M, Löhnert U. Potential of higher order moments of the radar doppler spectrum for retrieving microphysical and kinematic properties of Arctic ice clouds [J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2017, 56(2): 263–282.
- [9] Löhnert U, Kollias P, Jackson C, et al. Developing and evaluating ice cloud parameterizations for forward modeling of radar moments using in-situ aircraft observations [J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2015, 32(5).
- [10] Haimov S, French J, Geerts B, et al. Compact airborne Ka-band radar: A new addition to the University of Wyoming aircraft for atmospheric research [C]. 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2018.
- [11] 商建, 郭杨, 吴琼, 等. 我国 Ka 频段降水测量雷达机载校飞试验结果. 应用气象学报 [J], 2011, 22(5): 590–596.
- [12] 吴琼, 商建, 仰美霖, 等. 基于非表面参考技术的机载双频降水反演结果分析 [J]. 遥感技术与应用 [J], 2014, 29(3): 378–385.
- [13] 陈廷娣, 王连仲, 窦贤康. TRMM 卫星与机载雷达在降雨反演中的数据对比个例研究 [J]. 应用气象学报 [J]. 2008, 19(4): 454–462.
- [14] Pazmany A L, Wolde M. A compact airborne G-band(183 GHz) water Vapor Radiometer and retrievals of liquid cloud parameters from coincident radiometer and millimeter wave radar measurements [C]. Microwave Radiometry & Remote Sensing.

ing of the Environment, Microrad. IEEE, 2008.

[15] Wolde M, Hudak D, Pazmany A L. Characterization of supercooled and mixed phase clouds using airborne dual-frequency radar and G-band radiometer[J]. 2012(2).

[16] Damiani R, Haimov S. A high-resolution dual-doppler technique for fixed multiantenna airborne radar[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2006, 44(12): 3475–3489.

Data Quality Control of Airborne Precipitation Cloud Radar

ZUO Dongfei¹, YANG Ling¹, DING Deping², ZHAO Delong²

(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Beijing Weather Modification Center, Beijing 100089, China)

Abstract: The airborne Precipitation Cloud Radar (KPR) is used for Cloud penetrating observation. The data quality of KPR is studied as follows: (1) the product image of KPR is denoised by gaussian filter because there is a lot of background noise in the original data detected by KPR. (2) The detection angle of KPR is based on the aircraft. In order to better judge cloud top and cloud bottom information, the trajectory of KPR products is revised, and the noise and gain on the trajectory of KPR products are eliminated by the quadratic spline interpolation. (3) Due to the influence of aircraft movement, the doppler velocity and spectrum width measured by KPR have a large error with the actual situation, and the doppler velocity and spectrum width are corrected by the correlation algorithm. Through data quality control, KPR’s product quality has been significantly improved.

Keywords: airborne precipitation cloud radar; Gaussian filtering; trajectory correction; quadratic spline interpolation; doppler velocity; spectrum width