

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, 2011, 22(5): 590-596.

我国 Ka 频段降水测量雷达机载校飞试验结果

商建* 郭杨 吴琼 杨虎 尹红刚

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要

2010 年 6—10 月在天津与江苏地区开展了国内首次 Ku/Ka 频段星载降水测量雷达机载校飞试验。此次校飞试验获得了宝贵的机载雷达观测数据和地面、海面同步观测数据,目前已开展了外定标、数据对比与衰减订正等工作。该文给出了天津校飞试验中 Ka 频段降水测量雷达实测结果,对 Ka 频段降水测量雷达资料与天津地区 S 波段地基多普勒雷达资料进行了详细的对比分析,有利于更好地了解 Ka 频段降水测量雷达仪器本身的性能及其探测降水的能力;利用由 GPS 探空资料、地基多通道微波辐射计观测亮温结合微波辐射传输模式得到的雷达路径积分衰减量,对 Ka 频段降水测量雷达进行了衰减订正,为继续开展降水反演工作奠定了基础。

关键词: 降水测量雷达; 机载校飞试验; 数据对比; 衰减订正

引 言

降水的全球分布及微物理结构影响着全球气候与环境变化,降水量的准确观测和预报与人类的日常生活密切相关。降水的时空变化很大,很难对其进行准确的观测和预报。目前的观测资料主要来源于地面上的雨量计、地基雷达和星载被动遥感。雨量计和地基雷达的观测范围都受地理影响,无法覆盖广阔的海面、沙漠和高山地区^[1-2]。能够观测全球云雨分布的唯一有效手段是卫星探测^[3-4],过去和现有的卫星观测手段均采用被动遥感技术,都无法探测降水的垂直结构^[5-9]。星载降水测量雷达可以克服雨量计、地基雷达和卫星被动遥感的缺陷,弥补当前观测资料的不足。世界上第 1 颗星载降水测量雷达 TRMM-PR (Tropical Rainfall Measuring Mission-Precipitation Radar) 自 1997 年发射以来获取了大量资料^[10-11],其三维观测数据已广泛应用于强降水和热带气旋等研究^[12-14]。

星载降水测量雷达是风云三号(FY-3) 02 批卫星观测星座中的重要仪器。降水卫星作为未来全球降水测量(Global Precipitation Measurement,

GPM)任务中的一员,将携带工作于 Ku 频段和 Ka 频段的两部雷达,为双频反演算法提供科学数据。该仪器的两个原理样机在国防科工局“十一五”预研项目支持下已经研制成功。国家卫星气象中心联合多家单位,于 2010 年 6—10 月在天津渤海湾(BH-RM 2010)与江苏黄海海域(JS-RM 2010)开展了 Ku/Ka 频段星载降水测量雷达机载校飞试验。这是我国第 1 次开展此类试验,此次试验的目的是验证 Ku/Ka 频段降水测量雷达的各项功能和性能指标,同时进行地面雷达与辐射计同步观测,利用观测数据进行星-机-地降水雷达观测比对、降水雷达数据处理和算法研究。试验设计的多条航线可分别完成旁瓣验证、地海杂波测量、星下点外定标和降水观测等试验。配套观测仪器包括地基多普勒天气雷达(SA 雷达)、车载 X 波段多普勒雷达、地基 12 通道微波辐射计、10 GHz 与 37 GHz 辐射计、便携式风速测量仪、测温仪、探空气球和 GPS 定位仪等。通过航空飞行与地面、海面实施的同步观测(如图 1 所示),获取了宝贵的科学试验数据。随着试验数据处理与分析的深入开展,相关研究成果将在星载降水测量雷达外定标与降水反演算法研究中发挥重要作用。

2010-12-06 收到, 2011-06-07 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项“星载降水测量雷达数据处理与应用关键技术研发”(GYHY201006050),航天长征火箭技术有限公司项目“星载降水测量雷达指标仿真研究”(500036)

* E-mail: shangjian@cma.gov.cn

目前已利用天津地区校飞试验获取的Ka频段降水测量雷达机载实测数据获得了初步的分析结果:第1部分给出BH-RM 2010校飞试验中Ka频段降水测量雷达实测结果,并与天津地区的S波段多普勒天气雷达资料进行详细的对比分析;第2部分利用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,对试验中的机载雷达数据进行衰减订正。本文获得的结果为进一步开展星载降水测量雷达校飞试验数据处理与分析打下了基础。

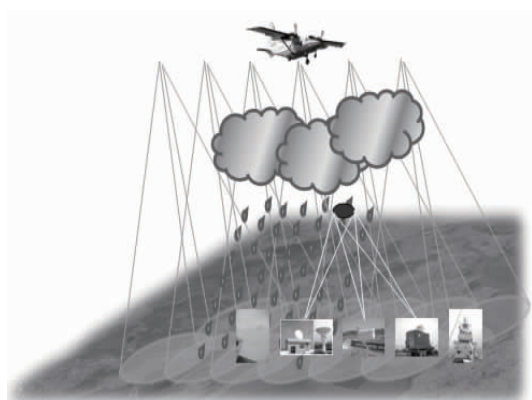


图1 机载雷达观测与地面同步观测示意图
Fig.1 Diagram of airborne radar and ground simultaneous observations

1 测量仪器与观测数据

Ka频段降水测量雷达工作频率为35.5 GHz,波束宽度为 0.9° ,扫描角度范围是 $-18^\circ \sim 18^\circ$,水平分辨率约为140 m,距离库长为48 m。表1给出了详细的降水测量雷达参数。雷达可工作在脉冲压缩模式与窄脉冲模式下。脉冲压缩模式下,脉冲宽度为 $20 \mu\text{s}$,雷达通过垂直航向扫描获得云和降水的三维观测数据;窄脉冲观测模式下,脉冲宽度包括 $2.33 \mu\text{s}$ 和 $1.2 \mu\text{s}$ 两种,雷达沿飞行方向可获得二维观测数据。

地基天气雷达是地面气象观测网的重要组成部分,可以提供回波强度和径向速度等重要资料^[15-17]。天津地区S波段多普勒天气雷达(以下简称SA雷达)位于 $39.04^\circ\text{N}, 117.72^\circ\text{E}$ 。工作频率为 $2.7 \sim 3.0 \text{ GHz}$,脉冲宽度为 $1.57 \mu\text{s}$,波束宽度约 1° 。扫描时选定若干个固定的天线仰角,在每一个仰角位置上沿方位角扫描 360° ,获得极坐标下的体扫描数据。文中使用的SA雷达资料已将体扫描的瞬时反射率因子插值到三维直角坐标系中,即对不同仰角的PPI资料进行双线性插值,在探测高度范围内等

距离地转化成不同高度上的平面资料。处理后的数据垂直分辨率为0.5 km,水平分辨率为1 km。

多通道地基微波辐射计TP-WVP3000位于 $38.85^\circ\text{N}, 117.50^\circ\text{E}$ 。这是由美国Radiometrics公司研制开发的一种新型12通道微波辐射计。该辐射计在位于水汽敏感的K频段($20 \sim 30 \text{ GHz}$)设置了5个通道(22.235, 23.035, 23.835, 26.235, 30 GHz),在位于温度敏感的V频段($50 \sim 60 \text{ GHz}$)设置了7个通道(51.25, 52.28, 53.85, 54.94, 56.66, 57.29, 58.80 GHz),能够直接测量这12个通道的微波辐射亮温^[18]。利用辐射计自带的反演软件可以连续得到从地面到1 km每0.1 km为1个间隔、1 km到高空10 km每0.25 km为1个间隔的温度、水汽密度和液态水的垂直廓线,每1 min 1个数据。文中所用辐射计资料是TP-WVP3000进行垂直观测时所得到的12个通道亮温。

GPS高空探空起始位置是 $38.25^\circ\text{N}, 117.62^\circ\text{E}$ 。探空数据记录从地面到20 km高度的气压、温度、相对湿度、位势高度、风速、风向和露点信息,每2 s记录1次。本文使用的是高度从3.0 m(气压为1006.5 hPa)到32099.5 m(气压为9.2 hPa)的2466层探空数据。

表1 Ka频段机载降水测量雷达的主要参数
Table 1 Main parameters of Ka-band airborne precipitation measuring radar

参数	参数值
飞行高度	约9 km
工作频率	35.5 GHz
天线尺寸	1.4 m×0.8 m
波束宽度	0.9°
采样点数	80
扫描角度	$\pm 18^\circ$
测绘带宽	约5.8 km
脉冲宽度	$20 \mu\text{s}, 2.33 \mu\text{s}, 1.2 \mu\text{s}$
距离分辨率	200 m, 350 m, 180 m
水平分辨率	140 m

2 Ka频段雷达测量结果与对比分析

2.1 机载雷达观测结果

对机载降水测量雷达接收的数据首先要经过定标处理。机载雷达定标是通过安置在地面的有源雷达定标器(Active Radar Calibrator, ARC)实现的。通过处理降水雷达在定标模式下获得的降水雷达数据与ARC数据,估算涉及到降水测量雷达接收功率绝对定标的每个降水雷达参数,包括雷达的峰值发射功率、发射增益、接收增益、雷达总增益以及天线方向图等。

经过定标处理后,得到 Ka 频段降水测量雷达(以下简称 Ka 雷达)的观测结果如图 2 和图 3 所示。图 2 是 2010 年 7 月 10 日 Ka 雷达采用脉冲压缩模式的观测结果;图 2a 是星下点的顺轨剖面,图 2b 是交轨剖面,回波最强的地方是地表,地物杂波的影响高度约为 200 m,图 2c 是距地面 2 km 高度

的水平截面。从图 2 可以清晰地看到降水的垂直与水平结构。飞机自东向西飞行,可以观察到降雨主要分布在航线的东南部。图 3 是 8 月 5 日在窄脉冲观测模式下获得的星下点顺轨剖面图像,地物杂波的影响高度约为 350 m;从图 3 可以看到,观测区域内分布着均匀的层状云降水。

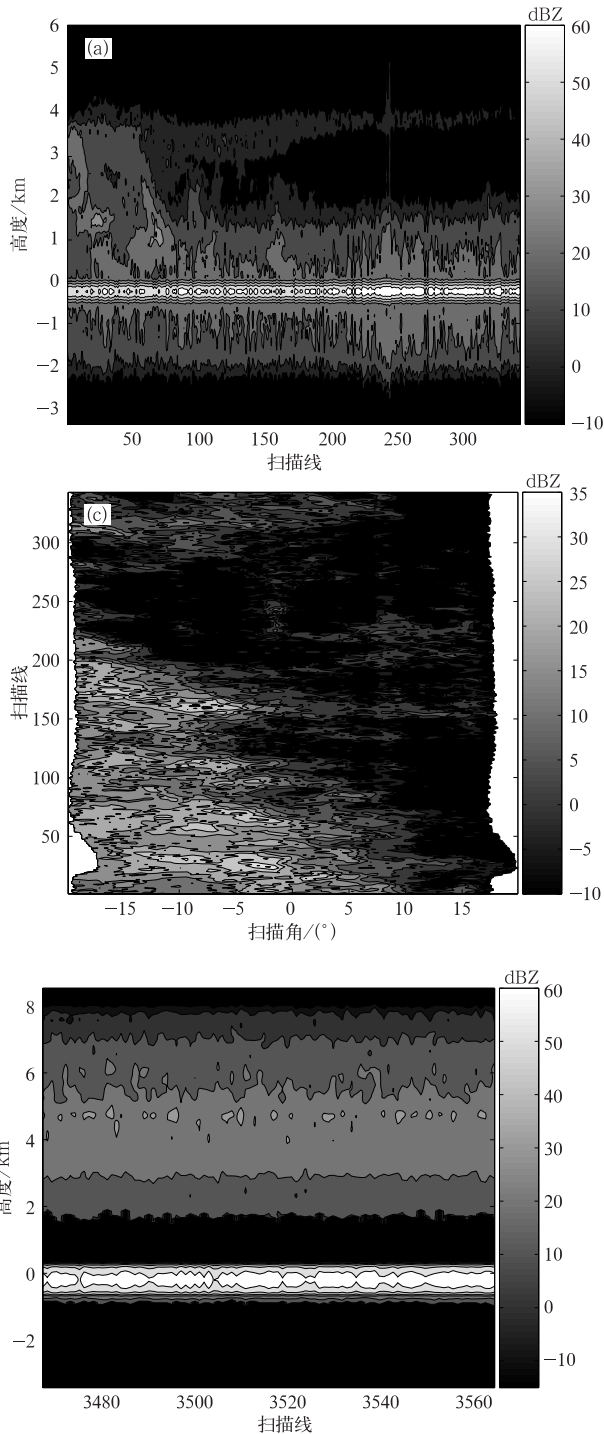


图 3 2010 年 8 月 5 日 Ka 频段雷达测量结果(窄脉冲模式)
Fig. 3 Measurement of Ka-band radar on 5 August 2010(short pulse mode)

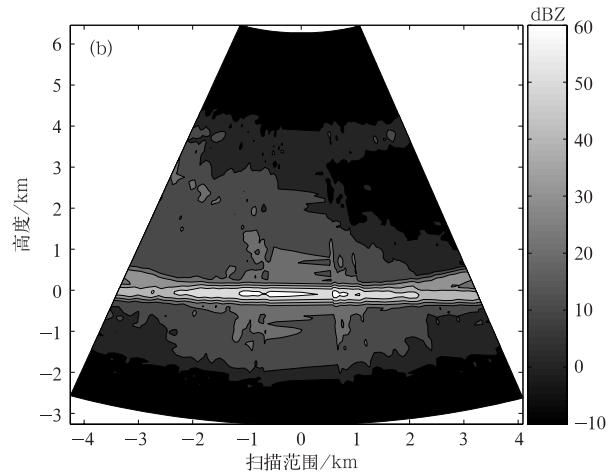


图 2 2010 年 7 月 10 日 Ka 雷达测量结果(脉冲压缩模式)
(a)顺轨剖面, (b)交轨剖面, (c)水平截面
Fig. 2 Measurements of Ka-band radar on 10 July 2010(pulse compression mode)
(a)along-track section, (b)cross-track section, (c)horizontal section

2.2 Ka 雷达与地基 SA 雷达对比

对机载雷达和地基 SA 雷达进行点对点的相互比较是一项很困难且有挑战性的工作^[19]。二者的分辨体积不匹配,扫描方式、分辨率和工作频率等方面均有差异,横滚、俯仰和偏航等飞机姿态变化使这一比较过程更加复杂。要进行数据对比,首先将数据在时空上统一起来:一是对数据进行选择,选择探测区域一致、时间相近的数据点;二是对数据进行处理,使其分布在固定的网格点上^[5]。本研究选取的重投影坐标系是以 SA 雷达站点为中心的笛卡尔坐标系,水平分辨率为 1 km,垂直分辨率为 0.5 km。

匹配处理的具体步骤如下:

①由于 Ka 雷达的观测受到载机姿态的影响,因此,进行对比分析工作之前,需要修正飞机横滚

角、俯仰角与偏航角对观测数据的影响。

②从 Ka 雷达机载校飞原始数据中读取飞机位置点的经度和纬度信息,计算得到每个观测单元的经度和纬度。

③根据坐标转换式(1)^[20],将 Ka 雷达和 SA 雷达每个单元的经纬度坐标转化为笛卡尔坐标:

$$\begin{aligned} x &= R_0(\alpha - \alpha_s) \cos \delta, \\ y &= R_0(\delta - \delta_s) + \frac{x^2}{2R_0} \tan \delta_s. \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中, x, y 分别为直角坐标系中的横、纵坐标, α, δ 分别为每个角度单元的经、纬度坐标, α_s, δ_s 分别为地基雷达的经、纬度坐标, R_0 为地球半径。

④将 Ka 雷达数据点映射到 SA 雷达的笛卡尔坐标系。

⑤计算出每一高度层上的 Ka 雷达的噪声阈值,根据此值限定 SA 雷达的最小有效数值,这样二

者的比较更有意义。

通过匹配处理,获得了在空间上准确对应的雷达数据。进行两部雷达观测资料的比对分析时,尽量选取相近时间对相同区域的匹配观测资料,减少由于观测时间与地点不同而引入的不确定性。图 4 给出了 Ka 雷达与 SA 雷达对同一区域观测的顺轨垂直剖面,区域范围为 $117.56^\circ \sim 117.78^\circ \text{E}$ 。图 4 中 Ka 雷达数据的获取时间是 2010 年 7 月 10 日 01:56 (世界时,下同),雷达数据的获取时间是 2010 年 7 月 10 日 01:54,二者的观测时间比较接近。由图 4 可以看出,机载降水测量雷达与地基天气雷达探测到了相似的降水结构,观测的降水回波分布和趋势基本相符,在观测数值上也较为接近。通过此次降水探测试验,验证了机载降水测量雷达具有探测降水三维结构的能力,能够获得降水内部的详细信息。

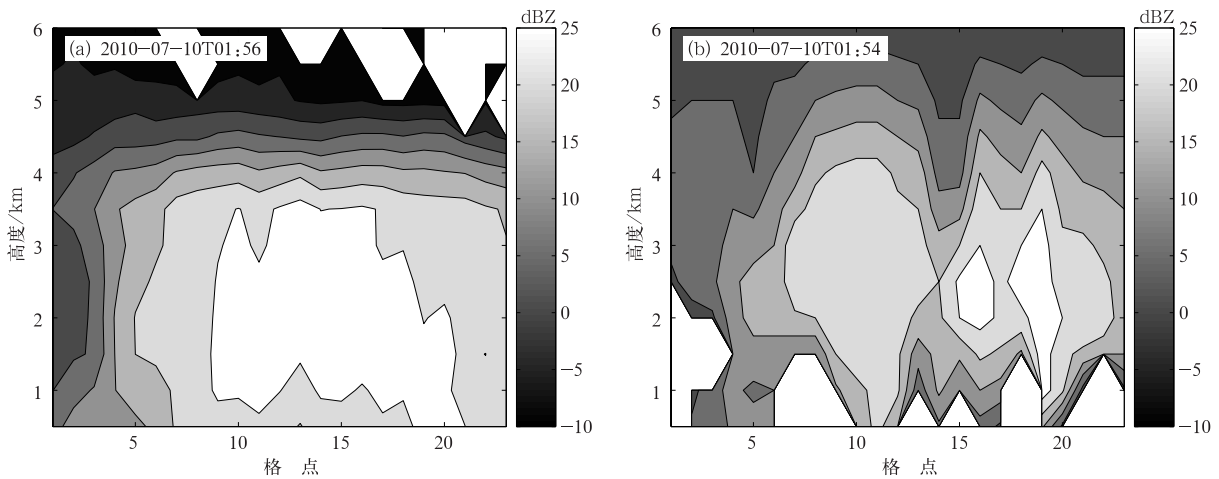


图 4 Ka 雷达(a)与 SA 雷达(b)垂直剖面对比

Fig. 4 Vertical profiles of Ka-band radar(a) and S-band radar(b)

本文进一步对 Ka 雷达与 SA 雷达的几组匹配数据点进行了定量比较,比较指标包括最大值、最小值、平均值、均方根误差和相关系数。其中,平均值表示像素值的平均大小,均方根误差反映两块数据的相似情况,这两个指标是基于统计特性的评价;相关系数反映两块数据的相关程度,是基于相关性的评价。对 3 组时空匹配的 Ka 雷达与 SA 雷达实测数据计算了各项指标,结果见表 2。这 3 组数据的观测时间分别为 2010 年 7 月 10 日 01:56 与 01:54, 7 月 10 日 02:21 与 02:24, 8 月 5 日 01:53 与 01:54; 匹配点数分别为 657, 362, 212; 相关系数分别为

0.6392, 0.6412, 0.7186。表 2 的结果从统计意义上更精确地比较了 Ka 雷达与 SA 雷达的观测结果。

整体来讲, Ka 雷达与 SA 雷达观测的回波结构比较相似,但二者测量的反射率因子在绝对数值上还存在一些差异。整体看来, Ka 雷达与 SA 雷达的测量结果相差 10 dB 以内,机载雷达的回波偏大。导致差异的原因包括:

①两部雷达的工作频率不同。利用 Quickbeam 模拟了 GCE 云模型中的水凝物廓线,得到弱降水情况下 SA 与 Ka 雷达反射率因子差异可达 6 dB。

表2 匹配数据的各项指标

Table 2 Indexes of match data

统计量	2010-07-10		2010-07-10		2010-08-05	
	Ka 雷达	SA 雷达	Ka 雷达	SA 雷达	Ka 雷达	SA 雷达
观测时间	01:56	01:54	02:21	02:24	01:53	01:54
最大值/dBZ	29.0555	28.0000	26.1907	26.0000	28.9097	16.0000
最小值/dBZ	-9.3367	-3.0000	-8.8639	-4.0000	1.0491	1.0000
平均值/dBZ	21.3517	16.4537	15.5933	11.6657	21.7788	11.9742
均方根误差/dBZ	9.5053		8.1828		9.1133	

②雷达本身定标的准确性。Ka 雷达的定标处理是数据处理中非常重要的一环,目前这一关键技术仍在摸索中,本文使用了初步的定标结果,定标误差也是造成两部雷达结果差异的一个原因。由于两部雷达本身定标的准确性引入的测量不确定性约为1~2 dB。

③衰减的影响。两部雷达所受衰减不同,衰减订正的结果对最终测量结果有一定的影响。

④SA 雷达仅仅观测了几个固定的高度,研究中所使用的三维笛卡尔坐标系中很多数据点的值是经过插值得到的,资料处理过程中不可避免地存在着资料平滑,引入了误差。

⑤Ka 雷达的观测时间很短,而 SA 雷达进行1次体扫描的时间约为5~6 min,降水系统在此期间可能有所变化,这一绝对时间的差异也造成了测量误差。

3 衰减订正

将 GPS 高空探空廓线作为输入,利用微波辐射传输模式 MWMOD (microwave radiative transfer model) 正演模拟晴空条件下地基微波辐射计 12 个通道的下行辐射亮温;通过设置相对湿度阈值,利用 MWMOD 绝热液态水含量分析方法,由探空廓线分析得到液态水廓线,进而模拟出有云情况下的下行辐射亮温。辐射传输模式的模拟亮温与地基多通道辐射计观测亮温的对比结果表明,进行云分析之后的模拟亮温值更接近于实测值。之后,利用分析得到的液态水廓线计算有云情况下的大气整层透过率,进而得到 Ka 雷达的路径积分衰减(path integrated attenuation, PIA),为雷达反射率因子的衰减订正提供一种有效手段。

计算得到的 Ka 雷达路径衰减如图 5 所示,可见进行云分析后,衰减量增加了 0.5 dB 左右。计算星下点观测时,每个高度层上的路径衰减见图 6。

在云分析后,路径衰减量随高度明显增加。

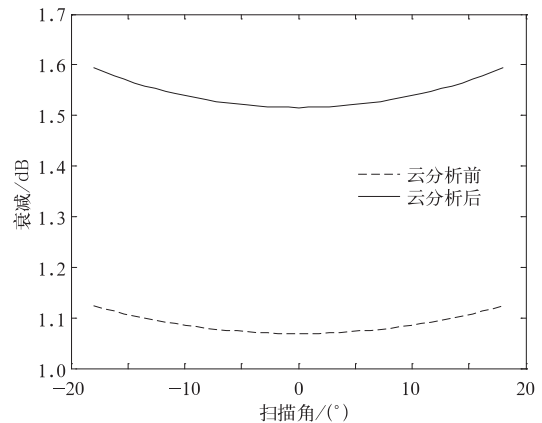


图5 Ka 雷达路径积分衰减随扫描角度的变化
Fig. 5 Ka radar PIA vs scan angle

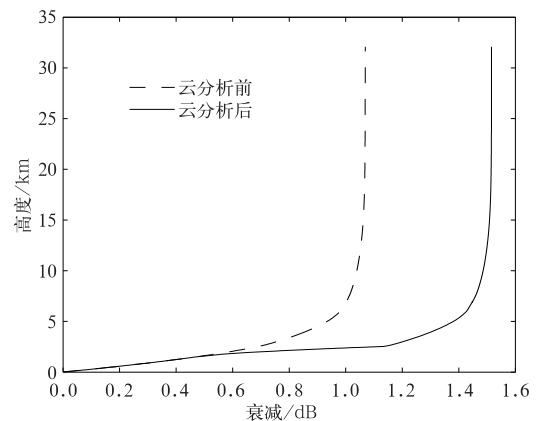


图6 星下点观测时 Ka 雷达
路径积分衰减随高度的变化
Fig. 6 Ka radar PIA vs height at nadir

利用前面获得的路径积分衰减,对同一时段的 Ka 雷达数据进行了衰减订正,图 7a 给出了雷达反射率因子的星下点廓线,图 7b 给出了衰减订正前后雷达反射率因子的差异值。近地表处雷达回波受到地物杂波的严重影响;在地物杂波的影响高度之外,最大衰减订正值约为 0.45 dBZ,符合当日弱降雨的实际情况。

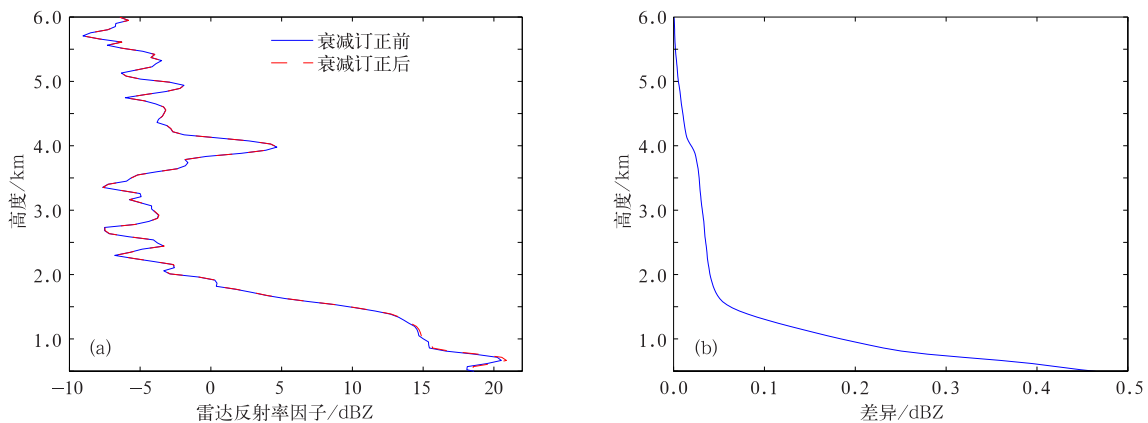


图7 Ka 雷达衰减订正结果

(a)雷达反射率因子的星下点廓线,(b)衰减订正前后雷达反射率因子的差异
Fig. 7 Attenuation correction result of Ka-band precipitation measuring radar
(a)nadir profiles of reflectivity factors, (b)difference caused by attenuation

4 小 结

2010年6—10月在天津渤海海域与江苏黄海海域成功开展了我国首次Ku/Ka频段降水测量雷达校飞试验,收集了宝贵的机载观测数据和地面/海面同步观测数据。本文对Ka频段机载降水测量雷达与天津地区S波段地基多普勒天气雷达进行了定性与定量比较,结果表明:Ka频段降水测量雷达与地基S波段雷达探测到了相似的降水结构,观测的降水回波分布和趋势基本相符,数值上也较为接近,验证了机载降水测量雷达具有探测降水三维结构的能力,能够获得降水内部的详细信息。进一步利用GPS探空资料、地基多通道微波辐射计观测亮温结合微波辐射传输模式,计算了雷达路径积分衰减,对Ka雷达进行了衰减订正,得到了合理的结果,为雷达反射率因子的衰减订正提供一种有效手段。

在这次成功的校飞试验中,多种观测仪器获取了大量实测数据,具有很高的利用价值,雷达资料比对分析与数据反演方面的后续工作还将进一步展开。

参 考 文 献

- [1] 李锐. TRMM 测雨雷达对热带降水结构特征及被动微波反演降水的研究. 合肥:中国科学技术大学, 2005.
- [2] 王成刚. TRMM PR 降水探测及天气雷达降水量估测的方法研究. 南京:南京大学, 2003.
- [3] 毛冬艳. TRMM 资料对中国暴雨个例的分析和降水反演. 北京:中国气象科学研究院, 2001.
- [4] 刘万栓. 空基雷达测雨衰减算法研究及雨滴谱参数订正. 合肥:中国科学技术大学, 2000.
- [5] 王连仲. 降雨反演中两种新算法的优化及机载和星载测雨雷达资料的对比验证. 合肥:中国科学技术大学, 2005.
- [6] Nakamura K, Okamoto K, Ihara T, et al. Conceptual design of rain radar for the tropical rainfall measuring mission. *Int J Sat Commun*, 1990, 8(3):257-268.
- [7] 刘锦丽, 窦贤康, 张凌, 等. 降水分布的空基遥感. *遥感技术与应用*, 1999, 14(4):1-9.
- [8] 傅云飞, 宇如聪, 徐幼平, 等. TRMM 测雨雷达和微波成像仪对两个中尺度特大暴雨降水结构的观测分析研究. *气象学报*, 2003, 61(4):421-431.
- [9] 李万彪, 陈勇. 利用热带降水测量卫星的微波成像仪观测资料反演陆地降水. *气象学报*, 2001, 59(5):591-601.
- [10] Chiu L, Serafino G, Teng W. Applications of tropical rainfall measuring mission (TRMM) Data. *IGARSS*, 2001, 7:2118-2120.
- [11] Chiu L, Liu Z, Rui H, et al. Tropical Rainfall Measuring Mission Data and Access Tools // Qu J, Gao W, Kafatos M, et al. *Earth Science Satellite Remote Sensing*, Springer Berlin Heidelberg, 2006:202-219.
- [12] 商建. 空间云雨测量雷达算法及系统技术研究. 北京:中国科学院电子学研究所, 2009.
- [13] 游然, 卢乃锰, 邱红, 等. 用PR资料分析热带气旋卡特里娜降水特征. *应用气象学报*, 2011, 22(2):203-213.
- [14] 吴庆梅, 程明虎, 苗春生. 用TRMM资料研究江淮、华南降水的微波特性. *应用气象学报*, 2003, 14(2):206-214.
- [15] 刘黎平, 葛润生. 中国气象科学研究院雷达气象研究50年. *应用气象学报*, 2006, 17(6):682-689.
- [16] 梁海河, 张沛源, 牛昉, 等. 全国天气雷达数据处理系统. *应用气象学报*, 2002, 13(6):749-754.
- [17] 徐广阔, 孙建华, 雷霆, 等. 多普勒天气雷达资料同化对暴雨模拟的影响. *应用气象学报*, 2009, 20(1):36-46.
- [18] Radiometrics Corporation. TP-WVP3000 Users Manual. <http://radiometrics.com>, 2005.
- [19] Bolen S M, Chandrasekar V. Ground and satellite-based radar observation comparisons; Propagation of space-based ra-

dar signals. *IGARSS*, 2000, 3:1352-1354.
[20] Heymsfield G, Ghosh K, Chen L. An interactive system for

compositing digital radar and satellite data. *J Climate Appl Meteor*, 1983, 22(5):705-713.

Airborne Field Campaign Results of Ka-band Precipitation Measuring Radar in China

Shang Jian Guo Yang Wu Qiong Yang Hu Yin Honggang

(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

Spaceborne precipitation measuring radar can measure precipitation quantitatively, observe the vertical distribution and provide three dimensional precipitation structures. Spaceborne precipitation measuring radar is an important instrument on FY-3 meteorological satellite constellation. As a possible future member of the Global Precipitation Measurement(GPM), this satellite will carry dual-frequency precipitation radar operating at Ku and Ka bands to provide scientific data for dual-frequency retrieval algorithm. Its two prototype devices, Ku-band and Ka-band radars have already been developed under the support of National Defense Science and Industry Bureau. Field campaign of Ku/Ka-band airborne precipitation measuring radar is carried out by National Satellite Meteorological Center of China Meteorological Administration combining several groups from June to October in 2010 in Tianjin and Jiangsu, called BH-RM 2010 and JS-RM 2010, respectively. This is the first time that China carries out airborne precipitation measuring radar field campaign. The purposes of this field campaign are to validate the correctness of internal and external calibration scheme under airborne conditions, observe simultaneously with ground-based radar and microwave radiometer and compare satellite-airplane-ground observation data, validate the functionality and performance of precipitation measuring radar, and explore data processing and retrieval algorithms of precipitation measuring radar. Numerous data are obtained from various instruments in the field campaign, including airborne precipitation measuring radar, ground-based weather radar, ground-based multi-channel microwave radiometer, GPS radiosonde, 10 GHz and 37 GHz radiometer, portable wind measuring device, and temperature measuring device. Initial analysis is accomplished with observation data obtained from BH-RM 2010. Observation results of Ka-band precipitation measuring radar working in pulse compression mode and short pulse mode are presented, which show clearly the vertical and horizontal structure of rainfall. Due to the radar different scan modes, resolutions, frequencies, and dynamic range, it's difficult to compare airborne radar data and ground-based radar data accurately, and the unstable attitude of the airplane makes the comparison more difficult. Spatial matching of Ka-band airborne radar data and Tianjin S-band ground-based Doppler radar data is carried out and detailed procedures are introduced. Quantitative indexes are further computed to indicate the observation consistency statistically. In rain retrieval algorithms, attenuation correction is a critical step. Using GPS radiosonde data, ground-based multi-channel microwave radiometer data and microwave radiative transfer model, the integrated attenuation of Ka-band radar is computed and attenuation correction is accomplished. The result is reasonable, which lays a basis for future rain retrieval. Data obtained by various instruments in the field campaign will be analyzed thoroughly, propelling development and rain rate retrieval of our spaceborne precipitation measuring radar.

Key words: precipitation measuring radar; airborne field campaign; data comparison; attenuation correction