

文章编号: 2096-1618(2019)05-0482-05

肇庆 X 波段双偏振天气雷达资料质量分析

郭春辉^{1,2}, 袁 微², 王 旭¹, 白爱娟¹, 周义昌²

(1. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 2. 肇庆市气象局, 广东 肇庆 526000)

摘要:以肇庆 X 波段全固态双偏振天气雷达观测的层状云降水过程资料为例,与肇庆 SA 单偏振天气雷达资料进行对比,分析反射率的数据质量,采用统计方法分析偏振量中的差分反射率 Z_{DR} 、相关系数 CC 、差分传播相移 Φ_{DP} 及差分传播相移率 K_{DP} 的数据质量。研究发现:X 波段双偏振雷达探测层状云降水回波分布与 SA 雷达探测回波分布相近,回波强度略高于 SA 雷达。当信噪比 $SNR < 25$ dB 时, CC 受噪声影响较大,数据不可信; Z_{DR} 较理论值偏大 0.4 dB; Φ_{DP} 在 7 km 以内抖动较大,数据不可用,7 km 以外依然存在少量的抖动; K_{DP} 大部分稳定在 $-1 \sim 1$,并伴有抖动,难以适用于分析弱降水的特性。

关键词:X 波段双偏振天气雷达;数据质量;相关系数;差分反射率因子;差分传播相移

中图分类号:TN957

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2019.05.007

0 引言

新一代双偏振多普勒天气雷达及组网的建成,在短时临近预报及定量估测降水等方面有极大的提高。广东作为气象现代化的试点省,新一代天气雷达观测得到前所未有的发展,目前业务运行的有 11 部 SA 双偏振天气雷达,1 部 SA 单偏振天气雷达^[1]。现有的雷达网能覆盖整个华南区域,但雷达网密度不足,存在近地面 1 km 的观测盲区。为填补粤西的观测盲区,肇庆市气象局在怀集县和德庆县各建设 1 部 X 波段全固态双偏振天气雷达。X 波段双偏振雷达通过双发双收的方法,不仅可探测到常规的基本反射率因子(Z_H)、平均径向速度(V)、速度谱宽(W)等信息,还可以探测到协相关系数(CC)、差分反射率(Z_{DR})、差分相移(Φ_{DP})以及差分相移率(K_{DP})等偏振信息^[2-5]。但是,在实际探测过程中,雷达数据质量容易受到地物遮挡、信号衰减、系统及环境噪声等因素的影响,导致雷达数据在实际应用前,有必要对其数据质量进行分析评估。

Gourley 等^[6]研究发现差分反射率因子(Z_{DR})容易受到影响而产生偏差,0.2 dB 的误差即可造成 15% 的降水估计误差。杜牧云等^[7]对 C 波段双偏振雷达进行数据质量分析发现距离雷达 3 km 以内的数据不可用, Z_{DR} 和 CC 在信噪比小于 15 dB 时亦不可用。吕博等^[8]对 XSP 双偏振雷达进行数据质量分析,发现当信噪比小于 10 dB 时,偏振量受噪声影响明显,误差较大,同时发现 Φ_{DP} 和 K_{DP} 受衰减影响较小。徐坤等^[9]对 X 波段双偏振雷达进行数据质量分析,发现当信噪比低于 20 dB 时, Z_{DR} 和 CC 受系统误差影响较大,资料变

得不可信。李兆明等^[10]在南京雷达组网实验中分析了固态雷达产生盲区的原因,发现使用三次样条插值方法能得到平滑程度较高的图像。

肇庆市两部 X 波段双偏振天气雷达于 2018 年 7 月投入使用,为了解该雷达的数据质量状况,选用德庆站 X 波段双偏振雷达与肇庆 SA 雷达进行对比分析,并以层状云降水过程为例,对 CC 、 Z_{DR} 及 K_{DP} 等原始偏振数据进行质量分析,为后续的衰减订正及降水估测等工作奠定基础。

1 雷达网络及性能指标

肇庆行政区内安装了 3 部多普勒天气雷达(图 1),其中两部是 X 波段全固态双偏振天气雷达,由南京恩瑞特公司研制,安装在德庆县和怀集县地面观测场,另外一部是 SA 单偏振天气雷达,由北京敏视达公司研制,安装在高要区一个山头上。雷达主要技术参数如表 1 所示。

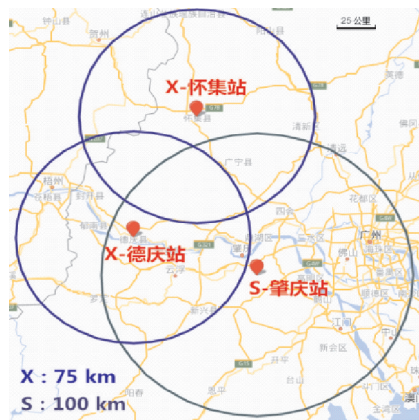


图 1 肇庆雷达网络分布图

表 1 X 波段与 S 波段雷达信息对照表

参数	X 波段	S 波段
海拔高度/m	62	91
工作频率/MHz	9320	2855
探测范围/km	75	460
距离分辨率/m	60	1000
方位分辨率/(°)	1	1
偏振方式	水平、垂直偏振	水平偏振
标定误差/dB	±0.2	±1
发射机功率/W	≥200	≥650

2 资料与方法

2.1 资料

选择德庆 X 波段双偏振雷达作为研究对象,肇庆 SA 雷达作为对比雷达,两者相距83.5 km。以 2018 年 11 月 15 日 04 时 30 分(北京时,下同)受高空槽影响产生的一次小雨天气过程数据为例分析反射率因子。为最大程度减少波束展宽对数据对比分析产生的影响,选择两部雷达连线中点附近区域的数据进行对比分析。由于固态雷达存在固有的探测盲区(此 X 波段双偏振雷达盲区为6 km),为正确分析偏振量,分析数据均选自于 10 ~ 60 km,同时需避开避雷针所在的方位。以 2018 年 11 月 12 日 20 时 04 分的层状云降水过程为例,对 CC 、 Z_{DR} 及 K_{DP} 等偏振量进行质量分析。

2.2 处理方法

对比之前,首先需对数据做以下简单处理。

2.2.1 雷达数据质量控制

利用公式(1)对德庆站 X 波段双偏振雷达和肇庆站 SA 雷达资料中的孤立噪声或者射线进行滤波^[9],公式如下

$$P_c = N/N_{total} \tag{1}$$

其中, c 为给定的雷达反射率距离库,以此为中心点,取 $n \times n$ (此处 n 取 5) 的窗口; N 为反射率因子的有效个数; N_{total} 为窗口总的格点个数,设为 25; P_c 为有效回波所占百分比,当 P_c 小于阈值0.60,该格点被视为孤立噪声被剔除。

2.2.2 坐标转换及三维格点化

为客观对比 X 波段双偏振雷达与 SA 雷达资料,

需要对雷达资料进行坐标转换。在此,需将极坐标系下空间分辨率不均匀的雷达资料统一插值到空间分辨率均匀的笛卡儿坐标系下的格点网格中。由于受两部雷达的仰角层数和距离分辨率的影响,数据俯仰分布不均匀,即使进行了坐标转换也不一定能够匹配到有效数据,所以需使用插值法处理获取对应的数据。步骤如下:利用笛卡儿坐标系下网格点的经度、纬度、海拔高度数据通过坐标转换公式^[11] 计算其在极坐标下的方位、仰角和斜距,最后使用插值法获取格点数据。

肖艳姣等^[12-13] 采用了 4 种插值法将雷达资料进行三维格点化,并对比了各自的优缺点。因为 NVI 方法能得到空间比较连续的反射率分析场和原有的反射率结构特征,因此选择 NVI 方法进行插值:如图 2 所示, (r,a,e) (其中 r 为斜距, a 为方位角, e 为仰角) 是某一个格点 $f(r,a,e)$ 对应雷达坐标系中的位置, e 位于其上下相邻仰角 e_1 与 e_2 之间,那么 $f(r,a,e)$ 可以用 $f(r,a,e_1)$ 和 $f(r,a,e_2)$ 这两点的值进行垂直方向插值得到,其公式如下:

$$f(r,a,e) = [w_{e_1}f(r,a,e_1) + w_{e_2}f(r,a,e_2)] / (w_{e_1} + w_{e_2}) \tag{2}$$

其中 w_{e_1} 和 w_{e_2} 为内插权重系数:

$$w_{e_1} = (e_2 - e) / (e_2 - e_1) \tag{3}$$
$$w_{e_2} = (e - e_1) / (e_2 - e_1) \tag{4}$$

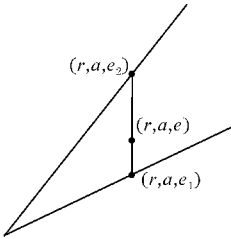


图 2 NVI 插值示意图

3 反射率因子对比分析

选取 2018 年 11 月 15 日 04 时 30 分自西向东的一次层状云降水,德庆 X 波段双偏振雷达与肇庆 SA 天气雷达均观测到这次降水回波(肇庆 SA 雷达回波已转换至德庆 X 波段双偏振雷达同一坐标系中,如图 3 所示),而且回波处在两部雷达连线中点附近。对红框区域进行格点分析,网格总面积为 990 km²,格点数为 300×300,分辨率约为 100m×110m(经向×纬向),同时此区域无波束阻挡。

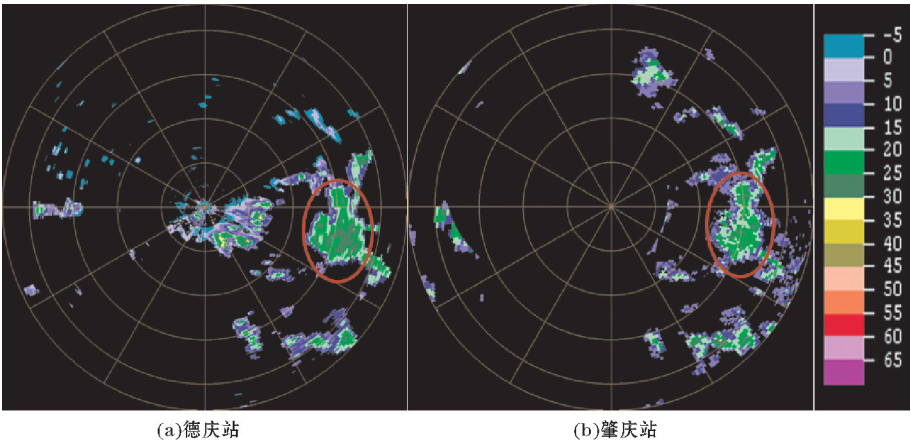


图3 2018年11月15日04时30分德庆站X波段雷达和肇庆站SA雷达2.4°仰角反射率因子(坐标转换后)图

为避免零度层(测得当天的零度层高度约为4.8 km)以上粒子的影响,分别将两部雷达的反射率数据填充到2000 m、3000 m和4000 m高度等高面网格中(图4)。从图4可以看出,二者在各高度层回波分布大致相同,位置稍有偏差,原因可能是两部雷达海拔高度等差异造成的。随着高度的增加,SA 雷达回波变化不

明显,X 双雷达有所增强,但均小于30 dBZ。统计3个高度层回波强度所占百分比(表2),从表2可以看出,X 波段雷达与SA 雷达反射率因子绝大部分都集中在15~25 dBZ,占的比例约为70~80,而且X 波段雷达占的比例要略高于SA 雷达,说明在弱降水回波的情况下,X 波段双偏振雷达的探测能力要强于SA 雷达。

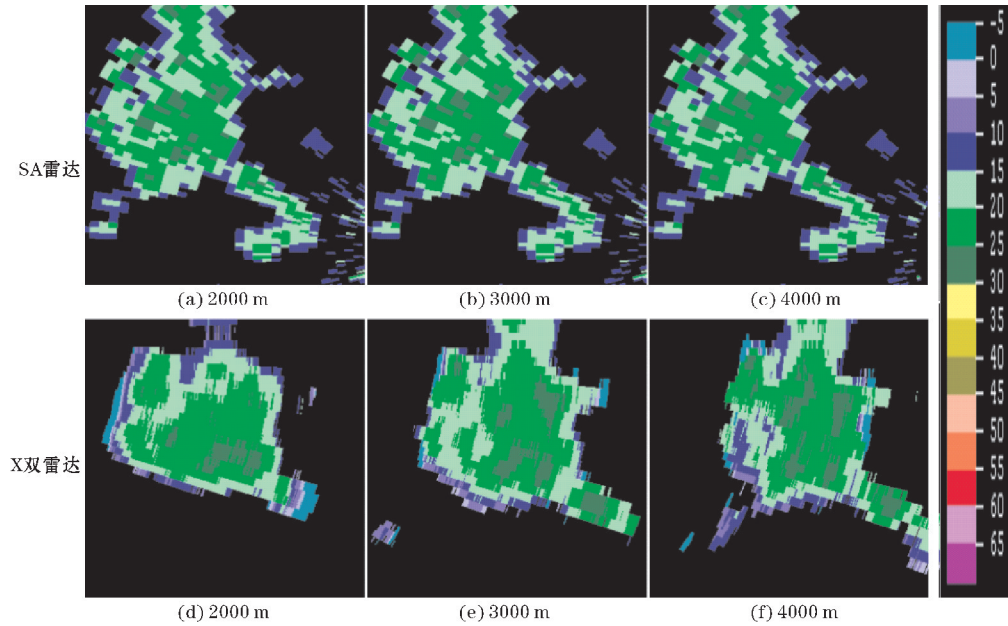


图4 2018年11月15日04:30 SA 雷达与X 双雷达的 CAPPI 反射率因子

表2 X 波段与S 波段雷达各高度层反射率因子(R)百分比表

高度/m	雷达	-5 dBZ≤R<15 dBZ	15 dBZ≤R<25 dBZ	25 dBZ≤R
2000	SA	24.8	69.6	5.6
	X 双	13.9	79.9	6.1
3000	SA	24.4	69.9	5.6
	X 双	8.2	81.2	10.6
4000	SA	24.1	70.2	5.6
	X 双	13.8	74.5	11.6

4 双偏振量质量分析

4.1 相关系数 CC

选取 2018 年 11 月 12 日 20 时 04 分的一次大范围层状云降水为例,考虑到地物杂波的影响,选取 2.4° 仰角的 CC 数据进行分析。绘制信噪比 SNR 与 CC 的散点图(图 5),当 $SNR<25$ dB时, CC 值较低,有相当多的数据分布在 0.9 以下,当 $SNR>25$ dB, CC 绝大多数都大于 0.9,更接近理论值 1,数据更可信。

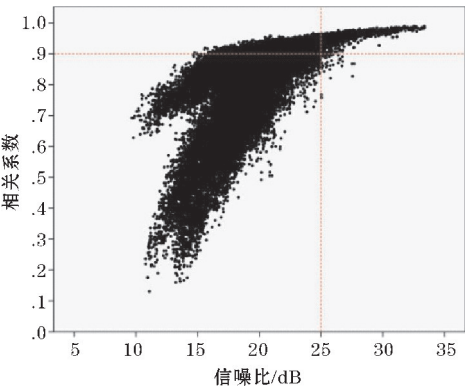


图 5 2018 年 11 月 12 日 20:04 信噪比与相关系数的散点分布图

4.2 差分反射率 Z_{DR}

依然选取 2018 年 11 月 12 日 20 时 04 分的层状云降水为例,选取 2.4° 仰角的 Z_{DR} 数据(选择的点在 15 ~ 60 km,并剔除了相关系数 CC 小于 0.8 的数据)进行分析。反射率 Z_H 与差分反射率 Z_{DR} 的散点图如图 6 所示,红线为 Z_{DR} 平均值 0.4 所在的位置。90% 的 Z_{DR} 值大于 0,说明粒子整体呈现扁平状;当 Z_H 在 15 ~ 25 dBZ, Z_{DR} 分布在 0.4 附近,较为稳定,平均值与理论值 0 有一定的偏差,即系统误差约为 0.4 dBZ。当 Z_H 大于 25 dBZ, Z_{DR} 有明显增大的趋势,绝大部分大于 0.5,说明

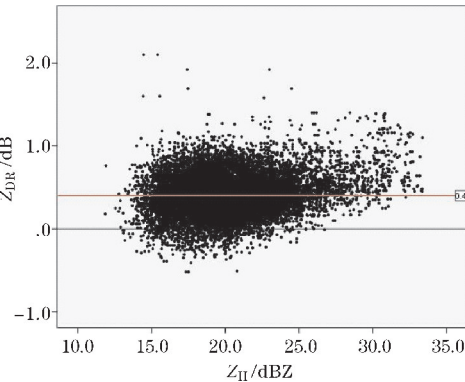


图 6 2018 年 11 月 12 日 20:04 Z_H 与 Z_{DR} 的散点分布图

随着 Z_H 增大,粒子轴比越来越大,降水粒子越来越大,由于本次层状云降水大于 25 dBZ 的回波点数不够多,所以呈现的效果不够集中。

4.3 差分相移 Φ_{DP}

在弱降水中,粒子呈近球形状,在同一径向上,每个距离库之间 Φ_{DP} 变化很小,理论上沿着径向方向与初始相位保持一致。选取 2018 年 11 月 12 日 20 时 04 分的层状云降水为例,选取 2.4° 仰角的 Φ_{DP} 任意一根径向数据(选择第方位为 198° ,距离在 0.1 ~ 75 km 按 1 : 1 采样的数据)绘制 Φ_{DP} 随距离的变化廓线。如图 7 所示,当距离 <7 km 时 Φ_{DP} 幅度抖动较大,主要是受近距离地物杂波的影响;在 7 km 左右抖动出现了一个尖峰,原因是固态雷达在盲区采用窄脉冲发射信号,非盲区采用宽脉冲发射信号,在宽窄脉冲拼接位置过渡不好造成的,因此 7 km 以内的数据不可用;当距离 >7 km 时,在 17 km 左右出现一个较大的抖动,33 ~ 40 km 也出现了少量的抖动, Φ_{DP} 整体相对稳定,仍然存在一定的波动。

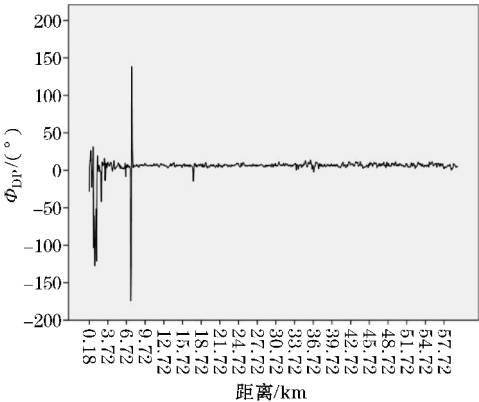


图 7 2018 年 11 月 12 日 20:04 Φ_{DP} 随距离的变化廓线图

4.4 差分相移 K_{DP}

图 8 给出的是 2018 年 11 月 12 日 20 时 04 分肇庆站雷达在 3.4° 仰角上 15 ~ 60 km 的信噪比 SNR 与差分传播相移率 K_{DP} 的散点分布图。从图 8 可看出, K_{DP}

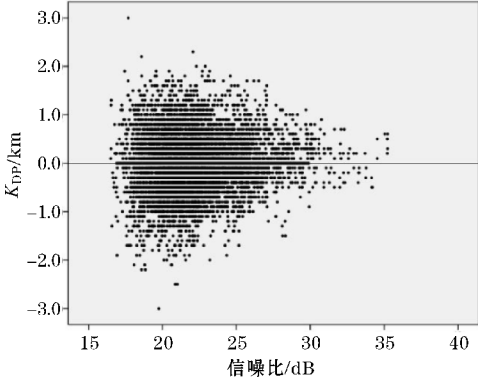


图 8 2018 年 11 月 12 日 20:04 信噪比 SNR 与差分传播相移率 K_{DP} 的散点分布图

的测量值比较小,90%的数据均处于 $-1 \sim 1$,并伴有一定的抖动,随着 SNR 的增大, K_{DP} 越来越集中在零值附近,与理论值0基本吻合。但 K_{DP} 数据整体依然存在一定程度的抖动,与雷达系统本身的噪声、 Φ_{DP} 的不稳定性及 K_{DP} 的计算方法均有关系。

5 结论

(1)在层状云弱降水情况下,在雷达连线中点附近区域上,X波段双偏振雷达受衰减影响小,与SA雷达探测回波比较接近,X波段雷达探测能力略强于SA雷达。

(2)在层状云降水情况下,当信噪比小于25 dB, CC 受噪声影响较大,数据不可信。

(3) Z_{DR} 值较理论值偏大0.4 dB,即存在0.4 dB的系统误差。

(4) Φ_{DP} 在7 km以内抖动较大,数据不可用,7 km以外依然存在一定程度的抖动,数据需使用滤波器过滤。

(5)在弱降水情况下, K_{DP} 值较小,绝大部分稳定在 $-1 \sim 1$,并伴有一定的抖动,数据质量不佳,难以适用分析弱降水的特性

致谢:感谢肇庆市气象局科学技术研究项目(201812)对本文的资助

参考文献:

- [1] 郭春辉,罗聪,雷卫延,等.基于图像合成修改雷达产品背景信息的实现[J].广东气象,2018,40(1):75-78.
- [2] 伍魏,周筠珩,李晓敏,等.X波段双偏振雷达的质量控制方法对比研究[J].成都信息工程学院学报,2017,32(1):19-26.

- [3] 雷亚会.X波段双偏振雷达反射率的衰减订正[J].成都信息工程学院学报,2014,29(6):586-589.
- [4] 杨立洪,刘小燕,陈玉华.双偏振雷达相关系数的产品分析[J].广东气象,2017,39(3):69-72.
- [5] 王晗,史朝,滕玉鹏.X波段双偏振雷达反射率的不同衰减订正法对比分析[J].成都信息工程学院学报,2016,31(4):363-365.
- [6] Gourley J, Kaney B, Maddox R. Evaluation the calibration of radars: A software approach [C]. 31th Conference on Radar meteorology, 2003:459-462.
- [7] 杜牧云,刘黎平,胡志群,等.C波段双线偏振雷达资料质量分析[J].暴雨灾害,2011,30(4):330-334.
- [8] 吕博,杨士恩,王俊,等.X波段双线偏振多普勒雷达资料质量评估[J].干旱气象,2016,34(6):1055-1062.
- [9] 徐坤,谢明元,刘黎平,等.C、X波段双线偏振多普勒雷达资料质量分析[J].成都信息工程学院学报,2009,24(4):329-332.
- [10] 李兆明,诸红星,漆加荣.X波段固态双极化天气雷达的数据处理及图像拼接[J].广东气象,2017,39(3):77-80.
- [11] 郭春辉,袁微,雷卫延,等.肇庆天气雷达径向遮挡订正系统设计[J].气象水文海洋仪器,2018,35(1):57-60.
- [12] 王红艳,刘黎平,王改利,等.多普勒天气雷达三维数字组网系统开发及应用[J].应用气象学报,2009,20(2):214-215.
- [13] 肖艳姣,刘黎平.新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究[J].气象学报,2006,64(5):647-648.

Quality Analysis of Zhaoqing X-band Dual-polarization Weather Radar Data

GUO Chunhui^{1,2}, YUAN Wei², WANG Xu¹, BAI Aijuan¹, ZHOU Yichang²

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Zhaoqing Meteorological Bureau, Zhaoqing 526000, China)

Abstract: Based on the observation data of Zhaoqing X-band dual-polarization weather radar for precipitation processes, comparing with the Zhaoqing SA single-polarization weather radar data, analyzing the data quality of reflectivity, Statistical methods were used to analyze the data quality of differential reflectance Z_{DR} , correlation coefficient CC , differential propagation phase shift Φ_{DP} , and differential propagation phase shift rate K_{DP} in the polarization. The research shows that the layered cloud precipitation echo distribution which the X-band dual-polarized radar detects is similar to the SA radar and the echo intensity is slightly higher than the SA radar. When the signal-to-noise ratio $SNR < 25$ dB, the CC is greatly affected by noise and the data is not reliable; Z_{DR} is 0.4 dB larger than theoretical value 0; Φ_{DP} has large jitter within 7 km, data is not available, and there is still a small amount of jitter outside 7 km; Most of the K_{DP} is stable between -1 and 1 , with some jitter, which is difficult to apply to the analysis of weak precipitation characteristics.

Keywords: X-band dual-polarization weather radar; data quality; correlation coefficient; differential reflectivity factor; differential propagation phase shift