

陈星登,郭泽勇,张弘豪,等. 不同强度云系的双偏振雷达特征[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):19–23.

Chen Xingdeng,Guo Zeyong,Zhang Honghao,et al. Dual polarization radar characteristics of clouds with different intensities [J]. Journal of Meteorological Research and Application,2021,42(2):19–23.

不同强度云系的双偏振雷达特征

陈星登¹, 郭泽勇^{2*}, 张弘豪², 陈时东³, 殷宏南²

(1.阳江市海陵试验区气象局, 广东 阳江 529500; 2.阳江市气象局, 广东 阳江 529500;

3. 阳春市气象局, 广东 阳春 529600)

摘要: 利用 S 波段双偏振雷达观测到的层状云、非降雹对流云以及冰雹云三种不同强度云系的雷达数据,对其双偏振参量的特征差异进行分析。结果表明,层状云的差分反射率 Z_{DR} 、差分相移率 K_{DP} 接近 0 值,差分相移 Φ_{DP} 随径向距离廓线变化小,与初始相位保持一致;在非降雹对流云中,CC 值基本稳定在 0.95 以上,回波强度大于 35dBZ 时, Z_{DR} 、 K_{DP} 和 Φ_{DP} 均显著递增, K_{DP} 和 Φ_{DP} 变化尤为明显,其表现出对强降水的敏感特征;冰雹云的双偏振特征整体与非降雹对流云一致,但在冰雹区域内反射率 ZH 大于 62dBZ 时, Z_{DR} 迅速降低至 0 附近,少数冰雹区域对应 K_{DP} 为空值(显示背景色) K_{DP} 原始算法存在明显缺陷,应当加以其他条件(如信噪比)作为约束。

关键词: 双偏振雷达;层状云;非降雹对流云;冰雹云;信噪比

中图分类号: P415.2

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.2.04

OSID:



引言

双偏振雷达与单偏振多普勒天气雷达相比可获得目标物的更多信息,不仅能同样获取到气象目标物的回波强度 Z、平均径向速度 V 等信息,还能获得差分反射率因子 Z_{DR} 、差分传播相移率 K_{DP} 、相关系数 CC 等新的偏振参数^[1–8]。国内外大量研究表明,对双偏振参数特征值进行细致分析与运算,可以识别降水类型和降水粒子的相态分布,这将大大提高对对流性天气系统的监测和预警能力,因此双偏振雷达是未来天气雷达的发展趋势,研究双偏振雷达在不同强度云系的特征具有重要的应用意义^[9–10]。阳江新一代天气雷 CINRAD/SA 于 2016 年初完成双偏振雷达升级改造并投入业务使用,是国内首批业务化应用的双偏振雷达。本文利用阳江双偏振雷达对 3 种不同强度云系的观测数据,通过对不同强度云系中双偏振参量的特征差异进行分析研究,为区分

不同的降水系统,进行雷达质量控制,以及短时临近天气预报、相关预警等业务提供更多技术支撑。

1 天气过程及数据选取

选取 2020 年 3 月 4 日一次层云降雨过程、2018 年 5 月 9 日大暴雨过程以及 2020 年 3 月 27 日一次冰雹过程共 3 种不同强度的天气过程(表 1)作为研究对象,资料数据为对应的阳江 S 波段双偏振雷达基数据,包括反射率因子 (Z_H)、差分反射率因子 (Z_{DR})、相关系数(CC)、差分相移 (Φ_{DP})和差分相移率 (K_{DP})等。

2 三种不同强度云系的双偏振特征分析

为更好地对比分析三种不同降水云系的双偏振参数特征,应对雷达基数据进行初步的质量控制:所选取的三个过程距离雷达站点较近,选用较高仰角(如 1.5 度以上),这样可有效避免地物杂波以及零

收稿日期: 2021-02-19

基金项目: 广东省重点领域研发计划(2020B0101130021)、灾害天气国家重点实验室开放基金(2020LASW-B04)及南海气象防灾减灾重点实验室开放基金重点项目(SCSF201904)

作者简介: 陈星登(1985—),男,硕士,工程师,从事天气雷达观测及应用。E-mail:522848878@qq.com

* 通讯作者: 郭泽勇(1982—)男,硕士,高级工程师,从事天气雷达观测及应用。E-mail:guozeyong@126.com

表 1 天气过程选取					
过程	选取资料时间	最大雨量 (mm)	最大平均风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	极大风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	强天气时间
过程 1 (层云降雨)	2020.03.04	22.3	13.5	17.8	14:00—17:00
过程 2 (大暴雨)	2018.05.09	231.9	12.9	17.7	08:00—20:00
过程 3 (冰雹)	2020.03.27	55.9	7.8	12.3	21:50—23:30

度层亮带等非降水目标物的影响;其中信噪比 SNR 对双偏振参数影响很大,特别是 Z_{DR} 与 SNR 大小密切相关,对回波信号采用低信噪比剔除的方法^[11];杂波信号的 Φ_{DP} 纹理特征明显,可据此进行剔除^[12]。

2.1 层状云双偏振特征分析

图 1 为层状云降雨过程中 1.5°仰角的双偏振产品(图中“*”标记雷达站点位置)。 Z_{H} 基本都在 35dBZ 以下,对应 Z_{DR} 接近于 0,但距雷达较远形成一圈 Z_{DR} 高值区,这是受融化层影响所致。 CC 大于 0.95,接近于 1.0, K_{DP} 接近于 0,属于典型的层云降水过程^[13]。

根据层云回波范围、融化层高度等参数,为避免 0℃层亮带、地物杂波等非气象信号的影响,选取了

1.5°仰角,全部径向的 20km~100km (距离库 100–400),计算了 $Z_{\text{H}}-Z_{\text{DR}}$ 、 $Z_{\text{H}}-K_{\text{DP}}$ 散点图(图中红色曲线为所有散点对应反射率 Z_{DR} 、 K_{DP} 的平均值变化曲线)。如图 2 所示,当 $Z_{\text{H}} < 25\text{dBZ}$ 时, Z_{DR} 平均值接近 0,当 $Z_{\text{H}} > 25\text{dBZ}$, Z_{DR} 随 Z_{H} 增大而在 0~2dB 之间呈递增趋势;整体上层云回波 K_{DP} 值比较小,变化也不大,集中在 0 值附近。由差分相移和反射率因子距离廓线图也可以看出(图 2c),层云降水 Φ_{DP} 波动小,沿着径向方向与初始相位保持一致,近距离处较大的 Φ_{DP} 波动是由于受地物影响所致,观测结果与张羽等^[13]的研究较为一致。

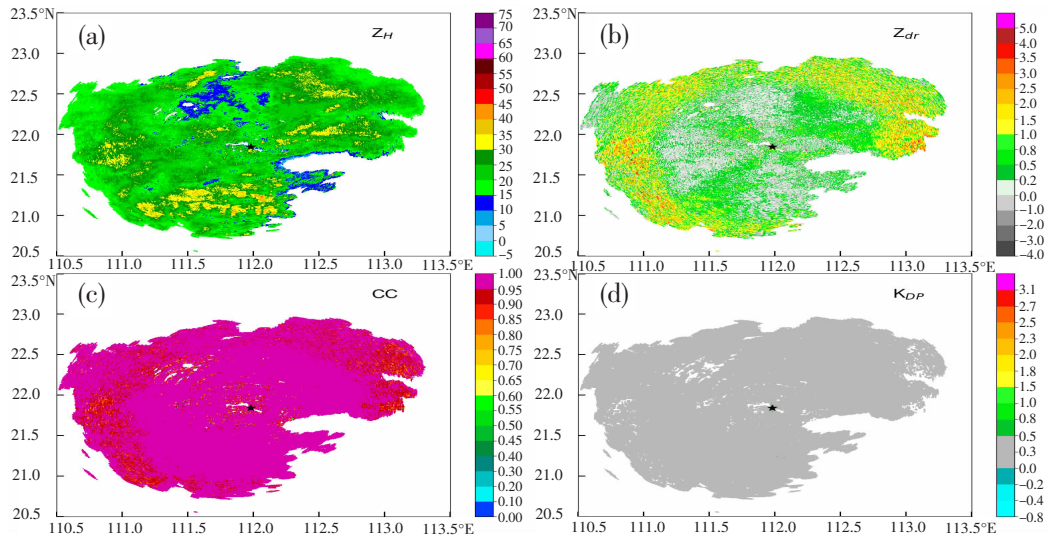


图 1 层云双偏振产品
(a) Z_{H} ; (b) Z_{DR} ; (c) CC ; (d) K_{DP}

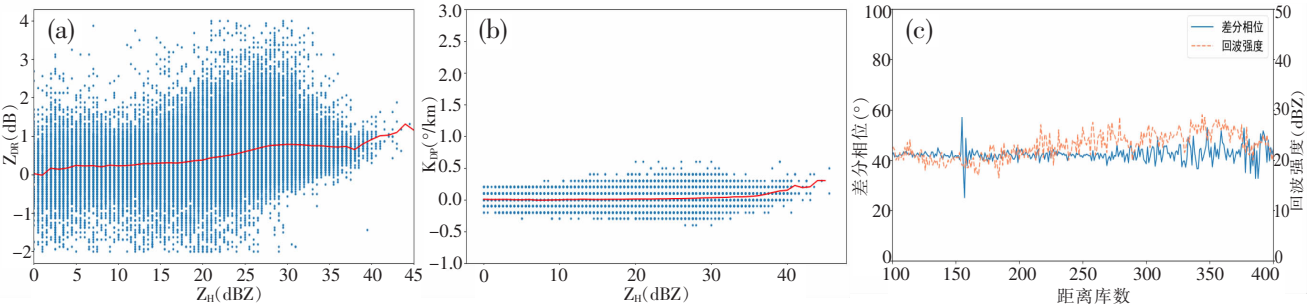


图 2 层云双偏振特征
(a) $Z_{\text{H}}-Z_{\text{DR}}$; (b) $Z_{\text{H}}-K_{\text{DP}}$; (c) 径向廓线图

2.2 非降雹对流云双偏振特征分析

图 3 为对流性强降雨的 1.5° 仰角的双偏振产品。在距离雷达西南方 30~60km 处有两处强回波中心(如图 A、B 处), 最大回波强度达 60dBZ, 强回波中心对应着差分反射率 Z_{DR} 、 K_{DP} 的大值, 相关系数 CC 均在 0.95 以上, 因此对应着大雨滴的强降水区^[14-15]。计算全部径向的 20km~100km 的 Z_H - Z_{DR} 、 Z_H - K_{DP} 散点图以及雷达站至 30km 处强中心(A)方位的

差分相移和反射率因子距离廓线图(图 4)。对流性强降水回波 Z_{DR} 随着 Z_H 增大而增大, 可达 2~4dB; 当回波强度大于 35dBZ 时, K_{DP} 和 Φ_{DP} 均显著递增, 其中 K_{DP} 最大可到 $3.0^\circ/\text{km}$; Φ_{DP} 由 40° 左右的初始相位激增至近 100° , 表明 K_{DP} 和 Φ_{DP} 均对强降水十分敏感。整体观测结果与林文等^[10]对于非降雹强对流单体的观测结果一致。

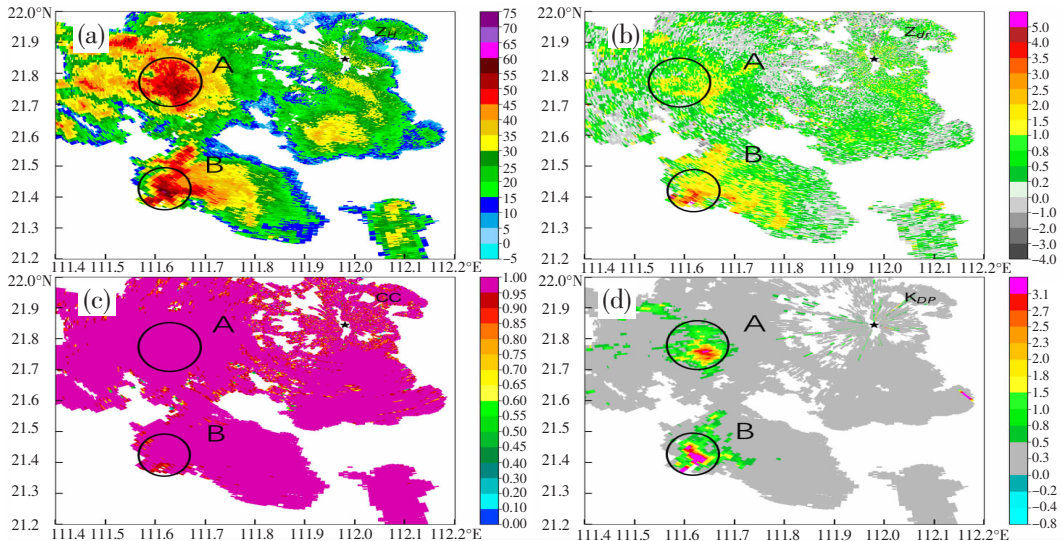


图 3 对流云双偏振产品

(a) Z_H ; (b) Z_{DR} ; (c) CC; (d) K_{DP}

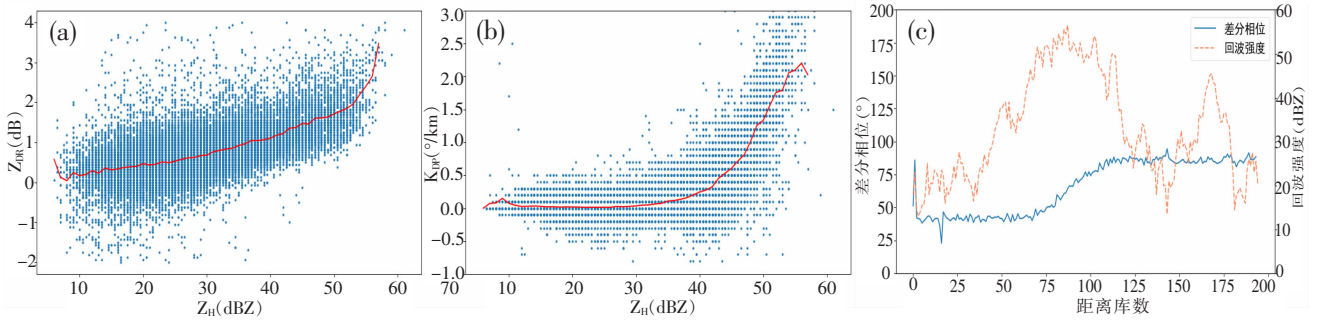


图 4 对流云双偏振特征

(a) Z_H - Z_{DR} ; (b) Z_H - K_{DP} ; (c) 径向廓线图

2.3 冰雹云双偏振特征分析

降雹单体数据 3.3° 仰角的双偏振雷达产品特征如图 5 所示, 对应回波强度最强区域(回波强度达到 70dBZ 以上)可明显发现 Z_{DR} 低值区(0dB)和 CC 谷(小于 0.9), 具有非常明显的冰雹特征^[16-19]。同时 K_{DP} 在此区域值比较大, 到 $5^\circ \cdot \text{km}^{-1}$ 以上, 说明该区域以融化小冰雹为主^[20]。但少数冰雹区域对应 K_{DP} 为空值(显示背景色), 这是由于对应距离库的相关系数小于 0.85, 导致 K_{DP} 不参与计算因而显示背景色^[21]。这表明 K_{DP} 原始算法有明显缺陷, 应当加以其他条件

(如信噪比)作为约束, 当相关系数小于 0.85 但信噪比仍较大, 此时仍需要计算 K_{DP} 值而非显示背景色。

分析 Z_H - Z_{DR} 、 Z_H - K_{DP} 散点图(图 6), K_{DP} 随 Z_H 变化与对流性降水情形一致, 理论上随着 Z_H 的增大, 当降水粒子以冰雹等为主时 CC 会相对较低而没有计算 K_{DP} , 所以图 6b 中看到 Z_H 强度只到 60dBZ, 而 Z_H 大于 60dBZ 时, K_{DP} 无数值。而在 Z_H 小于 60dBZ 时, Z_{DR} - Z_H 、 Φ_{DP} - Z_H 径向距离廓线变化与对流性降水过程相似, 但在 Z_H 大于 62dBZ 后, Z_{DR} 迅速降低至 0dB 附近。

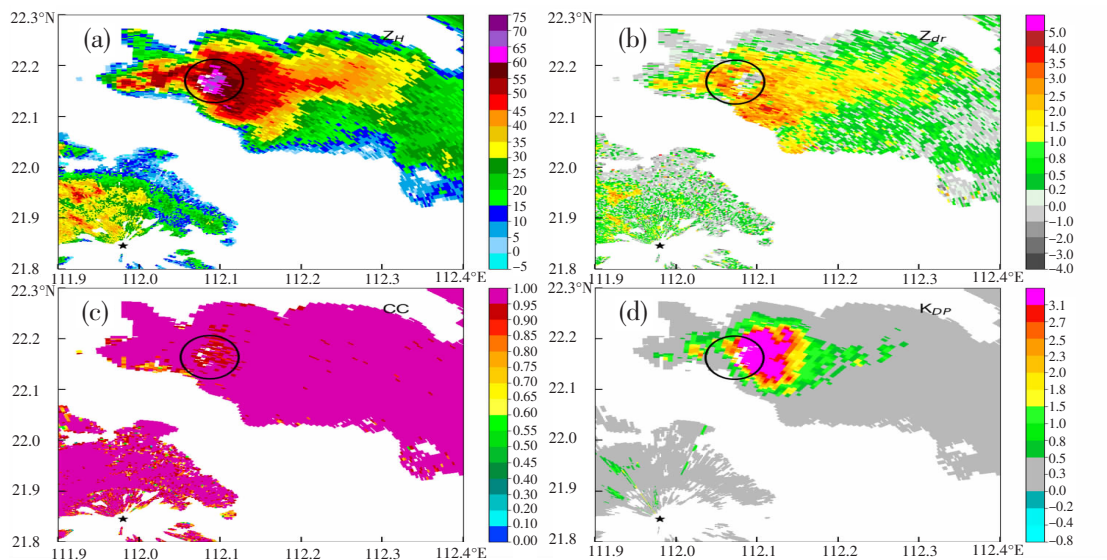


图5 降雹单体双偏振产品

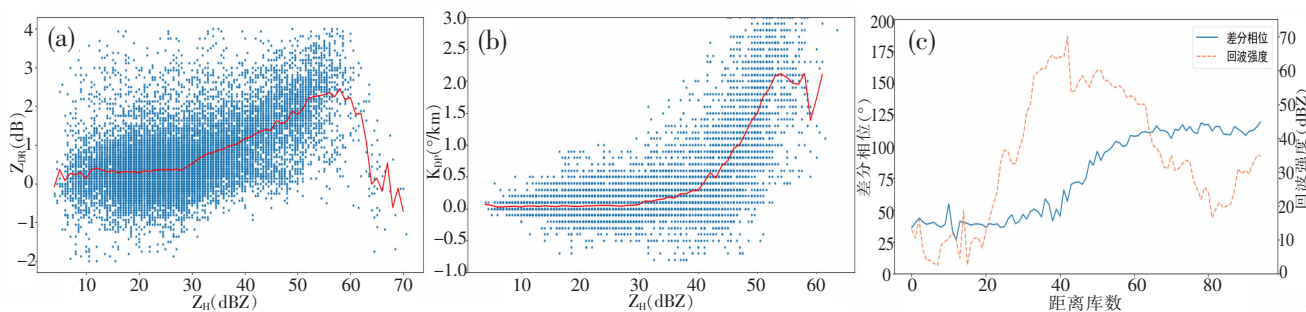
(a) Z_H ; (b) Z_{DR} ; (c)CC; (d) K_{DP} 

图6 降雹单体双偏振特征

(a) Z_H-Z_{DR} ; (b) Z_H-K_{DP} ; (c)径向廓线图

3 结论

通过分析研究阳江 S 波段双偏振雷达在层状云、非降雹对流云和冰雹云等三种不同强度云系的双偏振特征,得到结论如下:

(1) 层状云的 Z_{DR} 、 K_{DP} 接近 0 值, Φ_{DP} 随径向距离变化基本与初始相位保持一致,符合层云降雨的物理属性。

(2) 非降雹对流云中, Z_{DR} 、 K_{DP} 和 Φ_{DP} 随着回波强度的增大均显著递增,其中 K_{DP} 和 Φ_{DP} 变化尤为明显,表明其对强降水的敏感特征。

(3) 冰雹云在未产生冰雹时, Z_{DR} 、 K_{DP} 变化与强降水对流云的变化一致,随着回波强度的继续增大进而产生冰雹时, Z_{DR} 迅速降低。少数冰雹区域对应 K_{DP} 为空值(显示背景色)表明 K_{DP} 原始算法存在明显缺陷,应当加以其他条件(如信噪比)作为约束。

参考文献:

- [1] Kumjian M R. Principles and applications of dual-polarization weather radar. Part II: warm- and cold-season applications[J]. J Operational Meteor, 2013, 1(20): 243-264.
- [2] Ryzhkov A V, Zrnich D S, Burgess D, et al. Observation and Classification of Echoes with the Polarimetric WSR-88D Radar[R]. Report of National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma, 2003: 19-26.
- [3] Bringi V N, Chandrasekar V. Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications [R]. Cambridge University Press, 2001.
- [4] Katja F, Martin H. A quality control concept for radar reflectivity, polarimetric parameters, and Doppler velocity [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2006.
- [5] 高玉芳,陈耀登,David Gochis,等. JOPLE 算法结合双偏振雷达在不同降水过程中的测雨效果分析[J]. 热带气象学报, 2014, 30(2): 361-367.
- [6] 董振贤,李妙英. 双偏振多普勒天气雷达的偏振参量及

- 其应用[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, 5(3): 98-102.
- [7] 胡胜, 胡东明, 汪瑛, 等. 双线偏振多普勒雷达及其探测技术的应用[J]. 广东气象, 2006(4): 12-16.
- [8] 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.
- [9] 曹俊武, 刘黎平. 双线偏振多普勒天气雷达识别冰雹区方法研究[J]. 气象, 2006, 32(6): 13-19.
- [10] 林文, 张深寿, 罗昌荣, 等. 不同强度强对流云系 S 波段双偏振雷达观测分析[J]. 气象, 46(1): 63-72.
- [11] 陈超, 胡志群, 胡胜, 等. 广州 S 波段双偏振雷达数据质量初步分析[J]. 热带气象学报, 2018, 34(1): 59-67.
- [12] Guo Z Y, Sun Z P, Guo J, et al. A Method for Calibrating Zdr by Using Light Rain Echo in Volume Scan Data[A]. 2019 International Conference on Meteorology Observations (ICMO)[C]. Chengdu China, 2019: 1-3.
- [13] 张羽, 田聪聪, 黎德波, 等. 广州 CINRAD/SA 雷达双偏振升级及数据质量分析[J]. 广东气象, 2018, 40(4): 74-77.
- [14] 刘昭武, 郝茂生, 龚佃利. 鲁西北地区一次秋季强对流天气的雷达识别分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1): 79-83.
- [15] 罗思泽, 黄庆国, 杨兰, 等. 梧州前汛期强对流天气多普勒雷达特征分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(4): 18-21, 132.
- [16] 江慧远, 魏鸣, 张深寿, 等. 一次冬季冰雹的双偏振多普勒天气雷达回波分析[J]. 气象科学, 2019, 39(6): 755-762.
- [17] 张正国, 邹光源, 刘丽君, 等. 雷达回波顶高(ET)产品在广西冰雹云识别中的应用研究[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(4): 89-92.
- [18] 赖雨薇, 黄磊, 周惠文. 多普勒雷达产品对南宁冰雹天气的应用分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(4): 36-39, 43.
- [19] 许云杰, 梁依玲, 张丁丁. 2018 年 5 月 7 日来宾强冰雹雷达特征分析[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(3): 52-55.
- [20] Loney M L, Zrnicek D S, Straka J M. Enhanced polarimetric radar signatures above the melting level in a supercell storm[J]. Appl Meteor, 2002, 41(12): 1179-1194.
- [21] 冯晋勤, 张深寿, 吴陈锋, 等. 双偏振雷达产品在福建强对流天气过程中的应用分析[J]. 气象, 2018, 44(12): 1565-1574.

Dual polarization radar characteristics of clouds with different intensities

Chen Xingdeng¹, Guo Zeyong^{2*}, Zhang Honghao², Chen Shidong³, Yin Hongnan²

(1. Meteorological Bureau of Hailing Experimental Zone, Yangjiang Guangdong, 529500;

2. Yangjiang Meteorological Bureau, Yangjiang Guangdong 529500;

3. Yangchun Meteorological Bureau, Yangchun Guangdong 529600)

Abstract: Based on the radar data of stratiform clouds, non-hail convective clouds and hail clouds with different intensities observed by S-band dual polarization radar, the characteristic differences of dual polarization parameters were analyzed. The results showed that the difference reflectivity Z_{DR} and the difference phase shift rate K_{DP} of stratiform clouds were close to zero. The difference phase shift Φ_{DP} changed little with the radial distance profile and was consistent with the initial phase. In the non-hail convective clouds, the CC value was basically stable above 0.95. When the echo intensity was greater than 35dBZ, Z_{DR} , K_{DP} and Φ_{DP} increased significantly; the variation of K_{DP} and Φ_{DP} was especially obvious, which was sensitive to heavy rainfall. The dual polarization characteristic of hail clouds was consistent with that of non-hail convective clouds. However, when the reflectivity ZH was greater than 62dbz in hail region, Z_{DR} decreased rapidly to near zero. The K_{DP} corresponding to a few hail regions was null (displaying background color). The original K_{DP} algorithm has obvious defects, and other conditions (such as signal-to-noise ratio) should be taken as constraints.

Key words: dual polarization radar; stratiform cloud; non-hail convective cloud; hail cloud; signal to noise ratio