

Preliminary Analysis of Thunderbolt Detection by S-Band Dual Polarization Doppler Radar in Zhuhai-Macau

Zhiming Tong, Chao Wang*, Kaicheng Xu, Shengqi Zhang

Zhuhai Meteorological Bureau, Zhuhai Guangdong
Email: zhtongzhiming@163.com, *377793460@qq.com

Received: Dec. 16th, 2018; accepted: Dec. 27th, 2018; published: Jan. 3rd, 2019

Abstract

This paper is based on the main polarization parameter data of Zhuhai-Macao S-band dual-polarization Doppler weather radar, combined with the lightning locator data, and analyzed the relationship between polarization parameters and lightning occurred in the Pearl River Delta region on June 12, 2018. The main polarization parameters included radar horizontal reflectivity factor ZH, differential reflectivity factor ZDR, zero-lag correlation coefficient ρ_{HV} and specific differential phase shift KDP. The results show that both the strong echo region and the weak echo region have a negative ground flash distribution, while the positive ground flash is mainly distributed in the center of the strong echo and its vicinity. ZH decreases with height, while lightning is distributed in the negative region of ZDR at 7 km. ρ_{HV} increases first and then decreases with height increase, and KDP decreases with height.

Keywords

Dual Polarization Radar, Lightning, Horizontal Reflectivity Factor, Differential Reflectivity Factor, Correlation Coefficient

珠海S波段双偏振多普勒雷达探测雷电的初步分析

童志明, 王超*, 许楷铖, 张生奇

珠海市气象局, 广东 珠海
Email: zhtongzhiming@163.com, *377793460@qq.com

收稿日期: 2018年12月16日; 录用日期: 2018年12月27日; 发布日期: 2019年1月3日

*通讯作者。

文章引用: 童志明, 王超, 许楷铖, 张生奇. 珠海S波段双偏振多普勒雷达探测雷电的初步分析[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(1): 58-64. DOI: 10.12677/ccrl.2019.81007

摘要

本文基于珠海-澳门S波段双偏振多普勒天气雷达主要偏振参量资料,包括不同高度上的雷达水平反射率因子ZH、差分反射率因子ZDR、零滞后相关系数 ρ_{HV} 和比差分相移KDP。结合闪电定位仪数据,系统分析了2018年6月12日发生在珠江三角洲地区的一次雷暴个例,研究双偏振雷达参量特征与闪电之间的关系。结果表明:强回波区和弱回波区都有负地闪的分布,而正地闪主要分布在强回波中心及其附近区域。ZH随着高度增加而减小,而7 km上闪电都分布在ZDR的负值区, ρ_{HV} 是随着高度增加表现为先增大后减小,KDP随着高度增加而减小。

关键词

双偏振雷达, 闪电, 水平反射率因子, 差分反射率因子, 相关系数

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

雷电的发生与季节、地理、地形、地质及气候等因素有关,在我国由雷电引起的灾害事件呈逐年增长的趋势,尤以南方地区更为显著,并严重威胁着人民群众的生命和财产安全。而雷暴活动时间和空间尺度较小,发展及消亡都有可能短时间在较小尺度范围内发生,因此对其雷电活动日常监测预警提出更高的要求[1]。

目前针对雷电的探测有多种技术手段,其中利用多普勒天气雷达进行探测和预报是重要的技术手段之一,而且已经被广泛的应用于短时临近预报中。双线偏振雷达相对于传统多普勒天气雷达有诸多进步,传统的天气雷达只能获取回波强度、径向速度、速度谱宽。而新一代天气雷达除了具有传统的功能外,还可以探测降水系统的差分反射率因子(ZDR)、差分相移率(KDP)、以及相关系数(CC)等偏振参量。通过对这些参量的融合计算,还可以进一步得到降水的更多信息。相比于常规多普勒天气雷达,双线偏振雷达在探测云和降水方面则比常规雷达有更强的能力,尤其是在估测降水和识别云中粒子相态方面,双线偏振雷达都表现出了极大的优越性能[2]。双线偏振雷达的工作原理与传统多普勒天气雷达不同,常规天气雷达是发射单一水平方向的电磁波,同时接收回波信号来完成探测,而双线偏振雷达则是通过同时发射或交替发射水平和垂直方向的电磁波,并接收两个偏振方向的回波信号来完成探测。相比而言,国外对于双线偏振雷达的研究早于国内,特别是在偏振参数应用、数据质量优化和矫正等方面已经取得了一定的研究成果[3] [4] [5] [6] [7]。国内最早关于双线偏振雷达方面的研究从20世纪80年代开始,中国气象科学研究院最早在甘肃平凉开展实验,利用双线偏振雷达来进行降水估测、粒子相态识别等方面的研究[8]。

雷暴云的生命史可以分为发展、成熟和消亡3个阶段,而在每个阶段都有可能伴随着闪电的发生,成熟阶段闪电最为剧烈。雷暴云中闪电的发生具有一定的随机性和不确定性,一般认为雷暴云中的正负性电荷碰撞导致放电从而产生闪电。但是由于雷暴云的发展阶段、高度和结构差异明显,因此云内电荷结构较为复杂,云内起电的机制目前还没有较为清楚的定论。不少的研究认为,强的上升气流和冰相粒子的碰撞是起电的基本条件[9]。而双线偏振雷达所提供的多种偏振参量,对改善传统雷达估测降水和识

别降水粒子相态等方面都有较好的应用效果[10] [11] [12], 因此利用双线偏振多普勒雷达探测雷电活动有较为广泛的应用潜力[13] [14] [15]。本文主要利用珠海 – 澳门合作共建的 S 波段双偏振多普勒天气雷达(后文简称珠海雷达)和闪电定位资料, 对珠江三角洲地区发生的一次雷暴天气过程进行雷达特征和闪电分布进行分析, 并探讨雷达回波区内双偏振雷达特征参量和闪电特征参数的大小及分布特点, 最终概括总结两者之间的相关关系。

2. 双偏振多普勒天气雷达简介

珠海 S 波段双偏振雷达于 2013 年 12 月开始正式运行, 观测模式为双发双收模式, 雷达其他主要参数见表 1。在双发双收模式下, 珠海雷达可以获取水平反射率 Z_H 、多普勒径向速度 V 、谱宽 W 三个和常规多普勒雷达相同的雷达参量, 同时还可以获取 4 个双偏振量, 包括水平反射率因子 Z_H 、差分反射率因子 Z_{DR} 、零滞后相关系数 ρ_{HV} 和比差分相移 K_{DP} 。此外, 还可获取反应雷达内部噪声水平的雷达参数 S_{NR} 。

Table 1. Main parameters of Zhuhai-Macau dual polarization radar

表1. 珠澳双偏振雷达主要参数

PPI扫描任务名	PPIVOL_A (低仰角)	PPIVOL_B (中仰角)	PPIVOL_C (高仰角)	SURVEILLANCE (远距离监视扫描)
仰角(deg)	0.1	0.5, 1.5, 2.4, 3.4, 4.3, 6.0	9.9, 14.6, 19.5	0.5
脉冲重复频率(Hz)	650/488	650/488	999/666	325
脉冲宽度(μ s)	1.57	1.57	1.57	1.57
分辨率(m)	250	250	250	1000
最大不模糊速度(m/s)	48.8	48.8	53.1	8.1
最大不模糊距离(km)	230	230	150	460
PPI扫描任务重复间隔	6	6	6	6
扫描速度(deg/s)	8	14	20.8	12
取样个数	64	32	32	23

3. 资料分析结果

2018 年 6 月 12 日至 13 日, 珠三角地区发生了一次明显的雷暴过程, 闪电定位系统也监测到多次闪电过程, 因此本文选取此次过程作为一个个例进行分析。图 1 给出了 12 日 17: 20 分多个雷达产品和闪电叠加图。其中 “+” 表示正地闪, “-” 表示负地闪。其中所有的地闪都是在雷达同一个体扫时间内发生的, 即 17: 20 至 17: 26。根据雷达参量与地闪的关系, 图 1 选取了原始雷达回波 Z 、水平反射率 Z_H 、差分反射率 Z_{DR} 、比差分相移 K_{DP} 、相关系数 ρ_{hv} 和 V_{EL} (m/s) 径向速度等参量进行分析。从图 1(a)可以看出, 影响珠三角地区的雷暴云团主要有两块, 因此为了便于区分和讨论, 把位于雷达中心西北的大片云团记为雷暴云团 A, 而雷达中心位置附近云团记为雷暴云团 B。从图 1(a)叠加闪电的原始反射率因子 Z 回波图上可看出, 雷暴云团 A 的强度偏大于雷暴云团 B, 同时云团 A 附近的云地闪个数明显偏多于云团 B。在同一体扫时间内, 研究区域内共发生了 123 个云地闪, 其中 35 个为负地闪, 88 为个正地闪。35 个负地闪和 88 个正地闪均集中在云团 A 强回波中心及其附近; 另外还有 9 个负地闪和 8 个正地闪在云团 B 处, 分布较零散。云地闪个数与云团发展的旺盛程度有很好的相关关系。 Z_{DR} 的 PPI 回波图上特征不明显。为了进一步研究双线偏振雷达的偏振参量三维结构特征及其与闪电的关系, 本研究对 17: 20 开始的体扫数据作 CAPPI 图分析, 结合签名的分析可知 Z_{DR} 的 CAPPI 图没有明显特征, 因此本文只选取水平反射率 Z_H 、差分反射率 Z_{DR} 、比差分相移 K_{DP} 、和相关系数 ρ_{hv} 的 CAPPI 图进行分析。

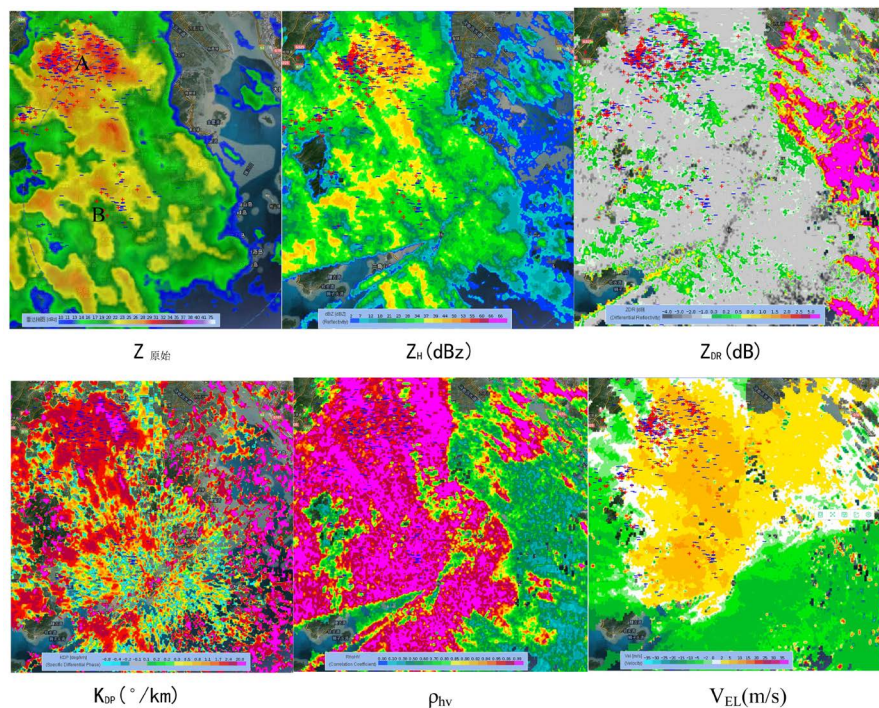


Figure 1. PPI diagram of overlay with lightning at 17:20 on June 12, 2018
图 1. 2018 年 6 月 12 日 17:20 叠加闪电的 PPI 图

3.1. 水平反射率因子 Z_H 的 CAPPI 图分析

图 2 给出了水平反射率因子 Z_H 的 CAPPI 图。一般认为 5~7 km 高度是闪电起始的高度，由于雷达系统无法获得闪电起始的垂直高度，因此本文只能大概认为闪电起始位置在 5~7 km 高度。从图 2 可看出，云团 A 处 40 dBz 回波基本在 5 km 以下，5 km 以上回波强度比较弱，云团 A 处闪电有正地闪也有负地闪，分布比较集中。从 3 km 高度平面看，云团 A > 40 dBz 强回波面积较大，5 km 高度平面上，强回波面积略有缩小，7 km 高度平面上强回波面积进一步缩小，强度基本上在 25~30 dBz 之间。一般来说，雷暴云中正电荷主要分布在雷暴云底部或上部，因而正地闪出现时的水平反射率因子 Z_H 比负地闪的 Z_H 要低。云团 B 回波较弱，可见其垂直发展一般，同样有正地闪也有负地闪，但发生频次较少分布比较分散，而在 7 km 高度的平面上，基本看不到强回波中心。从以上分析可知，3 km 到 7 km 垂直高度上，水平反射率因子 Z_H 是随着高度增加而呈现减小的变化特征。

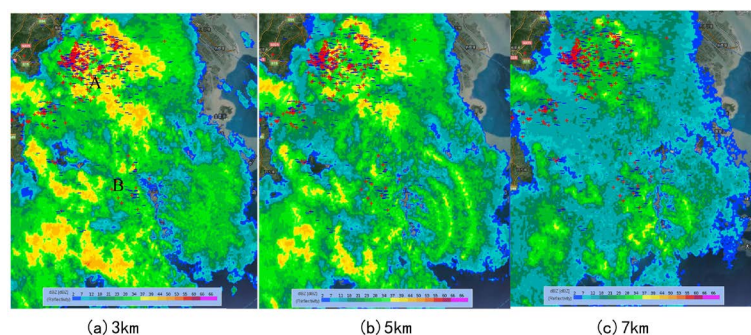


Figure 2. CAPPI diagram of Z_H overlay with lightning at 17:20 on June 12, 2018
图 2. 2018 年 6 月 12 日 17:20 叠加闪电的 Z_H 的 CAPPI 图

3.2. 差分反射率因子 Z_{DR} 的 CAPPI 图分析

差分反射率因子(Z_{DR})的定义为水平反射率因子(Z_H)与垂直反射率因子(Z_V)的比值。由定义可知,差分反射率因子 Z_{DR} 的大小与降水粒子的形状、大小、空间取向有关,而与降水粒子的数量无关,并受粒子的倾斜程度影响,其大小能反映出粒子在水平和垂直方向上的变形信息。图 3 给出了差分反射率因子 Z_{DR} 的 CAPPI 图,从图中可发现,3~5 km 高度平面上看不出闪电处 Z_{DR} 分布有明显的特征,而 7 km 高度平面上闪电都是在 Z_{DR} 负值区,可见 Z_{DR} 的负值区与闪电发生有密切联系。

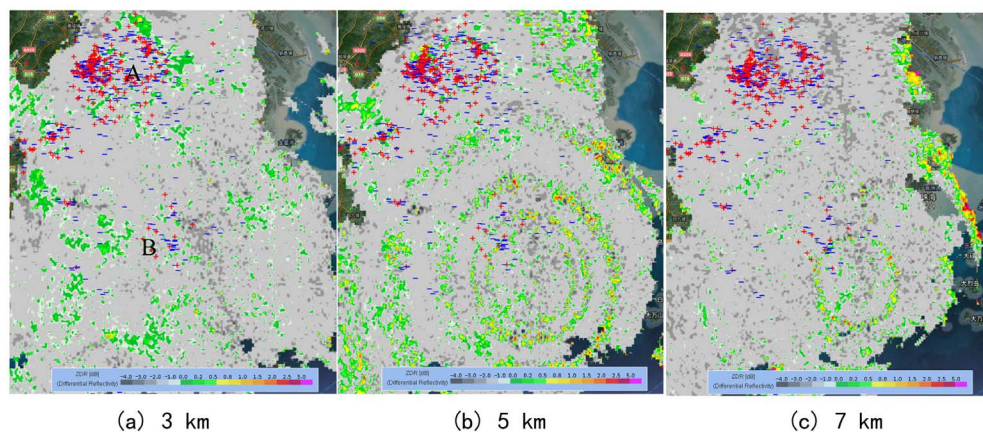


Figure 3. CAPPI diagram of Z_{DR} overlay with lightning at 17:20 on June 12, 2018

图 3. 2018 年 6 月 12 日 17:20 叠加闪电的 Z_{DR} 的 CAPPI 图

3.3. 零滞后相关系数 ρ_{HV} 的 CAPPI 图分析

雷暴云内降水粒子主要受重力(浮力)、阻力和电场力三力共同作用影响。当电场力为零时,降水粒子主要在湍流作用下排列成无明显规则,而当电场力增大并成为优势力时,降水粒子会沿着电场方向有序排列,其排列度和电场强度正相关,而零滞后相关系数 ρ_{HV} 的大小反映了云内水成物粒子的形状。从 ρ_{HV} 的 CAPPI 图(图 4)可看出对于云团 A 在 3 km 和 7 km 高度平面上,闪电处的 ρ_{HV} 在 0.9 以上,5 km 高度平面上 ρ_{HV} 值最大;云团 B 在 3~7 km 高度平面上,闪电区东侧出现了一块 ρ_{HV} 的小值区。总体来看,从 3 km 到 7 km 高度,零滞后相关系数 ρ_{HV} 是随着高度增加,表现为先增大后又减小的分布特征。

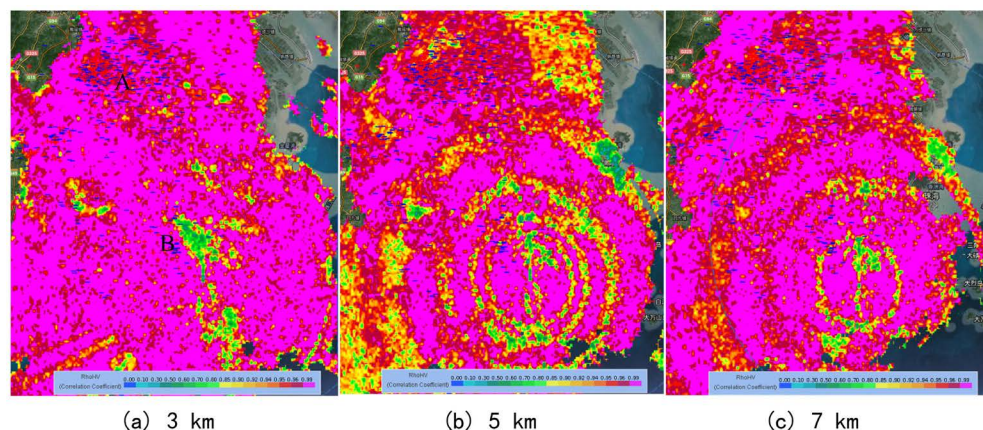


Figure 4. CAPPI diagram of ρ_{HV} overlay with lightning at 17:20 on June 12, 2018

图 4. 2018 年 6 月 12 日 17:20 叠加闪电的 ρ_{HV} 的 CAPPI 图

3.4. 比差分相移 K_{DP} 的 CAPPI 图分析

比差分相移 K_{DP} 的定义为在特定距离内水平偏振回波和垂直偏振回波相位之间的差值。从定义可知, 比差分相移 K_{DP} 是一个与水成物的形状、介电常数和数密度有关的参量。相比于反射率因子, K_{DP} 对降水粒子分布的变化不敏感, 测量值不受部分波束阻挡和各向同性粒子的影响, 但它依赖于粒子的密度。理论上 K_{DP} 能从统计意义上识别非球形降水粒子(雨滴一般可看作扁旋转椭球粒子)群旋转轴在空间均匀随机取向和一致垂直取向时的情况。旋转轴在空间均匀随机取向时($K_{DP} \approx 0$), 而旋转轴在空间一致垂直取向时($K_{DP} \neq 0$), 在用 K_{DP} 识别粒子形状时通常认为降水粒子群旋转轴在空间呈一致垂直取向。雨滴 K_{DP} 值一般较大, 从图 5 可看出对于云团 A 在 3 km 到 7 km 高度平面上, 闪电处的比差分相移 K_{DP} 在 0.9 以上, 从低层到高层, K_{DP} 随着高度增加而减小。云团 B 可能由于发展不够旺盛, 其比差分相移 K_{DP} 随高度变化特征不显著。

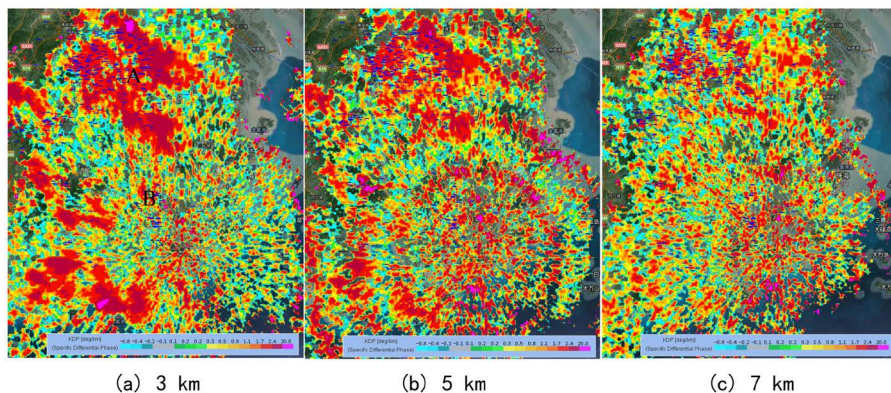


Figure 5. CAPPI diagram of K_{DP} overlay with lightning at 17:20 on June 12, 2018
图 5. 2018 年 6 月 12 日 17:20 叠加闪电的 K_{DP} 的 CAPPI 图

4. 结论与讨论

1) 从 Z_H 的 CAPPI 图上看, 云团 A 处 3 km 高度大于 40 dBz 强回波面积较大, 5 km 高度强回波面积略有缩小, 7 km 高度强回波面积进一步缩小, 强度基本上在 25~30 dBz 之间, 水平反射率因子 Z_H 是随着高度增加而减小的。

2) 从 Z_{DR} 的 CAPPI 图上看, 3~5 km 高度平面上看不出闪电处 Z_{DR} 分布有明显的特征; 7 km 高度平面上闪电都是在 Z_{DR} 负值区, 可见 Z_{DR} 的负值区与闪电发生有密切联系。

3) 从 ρ_{HV} 的 CAPPI 图上看, 云团 A 在 3 km 和 7 km 高度平面上, 闪电处的 ρ_{HV} 在 0.9 以上, 而 5 km 高度平面上 ρ_{HV} 值最大, 零滞后相关系数 ρ_{HV} 是随着高度增加表现为先增大后又减小的特征。

4) 从 K_{DP} 的 CAPPI 图上看, 云团 A 在 3 km、5 km 和 7 km 高度平面上, 闪电处的比差分相移 K_{DP} 在 0.9 以上, 从低层到高层, K_{DP} 随着高度增加而减小。云团 B 可能由于发展不够旺盛, 其比差分相移 K_{DP} 随高度变化特征不显著。

基金项目

广东省气象局科研项目(2014C05)。

参考文献

- [1] 李明军, 周晓明. 防雷减灾管理存在的问题[J]. 现代管理, 2014, 4(3): 9-12.

- [2] 钟晨, 张羽, 高建秋, 等. 双偏振多普勒天气雷达在冰雹识别中的应用[J]. 广东气象, 2014, 36(4): 76-80.
- [3] Gorgucci, E., Scarchilli, G. and Chandrasekar, V. (1999) A Procedure to Calibrate Multiparameter Weather Radar Using Properties of the Rain Medium. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **37**, 269-276
<https://doi.org/10.1109/36.739161>
- [4] Gourley, J.J., Tabary, P., *et al.* (2006) Data Quality of the Meteo-France C-Band Polarimetric Radar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **23**, 1340-1356. <https://doi.org/10.1175/JTECH1912.1>
- [5] Giangrande, S.E. and Alexander, V.R. (2005) Calibration of Dual-Polarization Radar in the Presence of Partial Beam Blockage. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **22**, 1156-1166 <https://doi.org/10.1175/JTECH1766.1>
- [6] Hubbert, J. and Bringi, V.N. (1995) An Iterative Filtering Technique for the Analysis of Copolar Differential Phase and Dual-Frequency Radar Measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **12**, 643-648
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1995\)012<0643:AIFTFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1995)012<0643:AIFTFT>2.0.CO;2)
- [7] Hubbert, J., Bringi, V.N., Carey, L.D., *et al.* (1996) CSU-CHILL Polarimetric Radar Measurements from a Severe Hail Storm in Eastern Colorado. *Journal of Applied Meteorology*, **37**, 749-775.
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1998\)037<0749:CCPRMF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1998)037<0749:CCPRMF>2.0.CO;2)
- [8] 刘黎平, 徐宝祥, 王致君, 等. 用 C 波段双线偏振雷达研究冰雹云[J]. 大气科学, 1992, 16(3): 370-376.
- [9] 李宗飞, 肖辉, 姚振东, 等. X 波段双偏振雷达反演雨滴谱方法研究[J]. 气候与环境研究, 2015, 20(3): 285-295.
- [10] 吴林林, 刘黎平, 袁野, 等. C 波段车载双偏振雷达 ZDR 资料处理方法研究[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 279-287.
- [11] 张羽, 胡东明, 李怀宇. 广州双偏振天气雷达在短时强降水中的初步应用[J]. 广东气象, 2017, 39(2): 26-29
- [12] Krehbiel, P., Chen, T., McCrary, S., *et al.* (1996) The Use of Dual Channel Circular-Polarization Radar Observations for Remotely Sensing Storm Electrification. *Meteorology & Atmospheric Physics*, **59**, 65-82.
<https://doi.org/10.1007/BF01032001>
- [13] Scott, R.D., Krehbiel, P.R. and Rison, W. (2001) The Use of Simultaneous Horizontal and Vertical Transmissions for Dual-Polarization Radar Meteorological Observations. *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology*, **18**, 629-648.
[https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2001\)018<0629:TUOSHA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2001)018<0629:TUOSHA>2.0.CO;2)
- [14] Caylor, J. and Chandrasekar, V. (1996) Time-Varying Ice Crystal Orientation in Thunderstorms Observed with Multiparameter Radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **34**, 847-858.
<https://doi.org/10.1109/36.508402>
- [15] 李超, 胡明宝, 胡鹏, 等. 双偏振多普勒天气雷达探测雷电的初步研究[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(3): 26-30.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org