

2021年温州地区首场降雪的双偏振雷达观测分析

张灵杰^{1,2,3}, 余贞寿⁴

¹中国气象局上海台风研究所温州联合实验室, 浙江 温州

²温州市气象台院士工作站, 浙江 温州

³文成县气象局, 浙江 温州

⁴浙江省气象科学研究所, 浙江 杭州

Email: 52604885@qq.com

收稿日期: 2021年4月6日; 录用日期: 2021年5月5日; 发布日期: 2021年5月12日

摘要

基于常规观测资料、ECMWF再分析资料和双偏振雷达探测资料, 对温州地区2021年首场降雪过程进行了分析, 研究表明: (1) 此次降雪过程的环流形势表现为西高东低, 引发降雪的主要天气系统是亚洲东岸大低涡及其向西伸出的横槽、700 hPa的西南风急流。(2) 在云底高度较高、云层厚度较浅薄的情况下, 云顶温度较低、零度层高度较低、中层以下平均温度较低、无明显的中层暖层和中低层明显的逆温结构有利于降雪的形成。(3) 水平反射率因子较小, 低于25 dBz, 差分反射率因子较小, 在1 dB以下, 差分相移率较小, 绝对值小于0.15 deg/km, 这些双偏振雷达回波指标和HCL产品对温州地区的弱降雪判断有一定的参考价值。

关键词

降雪, 双偏振雷达, 差分反射率, 相态

Analysis of the First Snowfall in 2021 in Wenzhou with Dual Polarization Radar Data

Lingjie Zhang^{1,2,3}, Zhenshou Yu⁴

¹Joint Laboratory of Shanghai Typhoon Institute & Wenzhou Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

²Academician Workstation of Wenzhou Meteorological Observatory, Wenzhou Zhejiang

³Wencheng Meteorological Bureau, Wenzhou Zhejiang

⁴Zhejiang Institute of Meteorological Sciences, Hangzhou Zhejiang

Abstract

Based on the conventional observation data, ECMWF reanalysis data and dual polarization radar data, the first snowfall process of 2021 in Wenzhou area is analyzed. The research shows that: (1) The circulation pattern of this snowfall process was shown as high in the West and low in the East, and the main synoptic systems caused the snowfall were the large vortex in the East coast of Asia, the horizontal trough extended westward from the large vortex, and the 700 hPa southwest jet. (2) In the case of high cloud base height as well as shallow cloud thickness, the low cloud top temperature, the low zero-temperature height, the low mean temperature below the middle level, no obvious warm layer in the middle level, but obvious inversion structure in the lower and middle troposphere were conducive to the formation of snowfall. (3) The dual polarization radar echo indexes such as the horizontal reflectivity factor smaller than 25 dBz, the differential reflectivity factor smaller than 1 dB, and the small differential phase shift rate when its absolute value less than 0.15 deg/km, and the HCL products can be certainly served as a reference for judging of weak snowfall in Wenzhou area.

Keywords

Snowfall, Dual Polarization Radar, Differential Reflectivity, Phase State

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

温州地区地处我国东南沿海, 气候温和, 素有“温润之州”美誉, 境内多山地丘陵地貌, 地形地貌复杂。降雪是温州西部山区冬季常见的天气现象, 但在温州东部的沿海平原地区就少有发生降雪。虽然降雪在温州东部沿海平原地区少见, 但一旦发生, 易给农业生产、交通运输、电力输送和人民群众生活等带来不利影响。我国气象工作者在降雪机制和成因等方面开展了一系列研究。钱卓蕾等[1]通过环流形势、水汽、动力、热力特征对 2010 年、2011 年冬季浙江两次强降雪过程进行了对比分析, 指出两次降雪过程都具有逆温结构。沈玉伟等[2]对浙江 2010 年冬季两次强降雪过程的环流形势和物理量场进行了分析, 认为两次过程的成因都是北方冷空气与西南暖湿气流交汇所致。周鹏等[3]利用常规观测资料和多普勒雷达资料对南京地区两次弱降雪过程进行了成因分析。张萍萍等[4]从水汽、不稳定、动力及温湿层结方面对 2013 年湖北省两次降雪过程进行了对比分析, 给出了干、湿雪形成的三维物理模型。

目前, 业务上对降雪的监测手段较少。虽然多普勒天气雷达对降雪有一定的监测能力, 但存在明显不足[5] [6] [7], 其主要原因是冬季降水回波普遍较弱, 有时降雪回波还会受到融化层的影响。随着双偏振雷达技术的日趋成熟, 近年来, 我国气象部门通过新建或者改造升级使双偏振气象雷达在气象业务中得到了广泛应用。相比于普通单偏振多普勒天气雷达, 双偏振多普勒天气雷达可提供更多的探测参量, 这些参量与降水粒子的大小、密度、形状、空间取向、介电常数等特征有密切相关。利用这些参量, 双

偏振雷达可反演出大气中降水粒子的相态[8], 国内外已取得不少此方面的研究成果[9]-[14]。国内外对双偏振雷达的应用研究多集中于粒子相态识别和降水量估测这两个方面[15][16][17][18], 而且过去国内的研究多使用 X 波段、C 波段偏振雷达探测资料研究夏季中高纬度地区超级单体的云微物理过程[19][20]。开展温州地区冬季降雪过程的 S 波段双偏振雷达观测研究较少, 有关 S 波段双偏振雷达对温州地区降水粒子相态的识别效果、特征情况等认识极为匮乏。

本文利用常规观测资料、ECMWF 再分析资料和温州双偏振雷达探测资料, 对 2021 年 1 月初温州地区的这次降雪过程进行分析, 研究此次降雪过程的大气环流条件、双偏振雷达产品特征, 有助于加深对温州降雪天气的认识, 并为今后温州地区使用 S 波段双偏振雷达进行降雪监测预警提供参考依据。

2. 资料与方法介绍

本文使用的资料包括: 2021 年 1 月 7 日浙江省地面常规观测资料; 欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的第五代 ERA5 (空间分辨率 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$)再分析资料; 温州双偏振多普勒天气雷达体扫资料, 雷达资料时间分辨率约为 6 min。

本文所使用的雷达数据来源于温州市 CINRAD/SA 双偏振多普勒天气雷达, 雷达布设在温州市区东部大罗山顶, 经纬度为 $120^\circ 44' 44'' E$ 、 $27^\circ 53' 44'' N$, 海拔高度 746 m, 周围无遮挡, 净空环境较好。该雷达由温州市气象局委托北京敏视达雷达有限公司对温州市原单偏振多普勒天气雷达进行升级改造而成, 于 2018 年底完成升级改造, 并通过验收投入业务运行。

干冰晶、湿冰晶、雨夹雪、液态云滴和冰雹等不同相态、形状的降水粒子在双偏振参量特征上各有差异, 因此利用双偏振参量特征可分析判断降水过程中降水粒子的相态。

3. 降雪天气实况

2021 年 1 月 7 日温州地区出现 2021 年的首场降雪。从 1 月 7 日 11 时温州地区及周边各站天气现象分布可见(图 1(a)), 不仅在温州西部高山地区, 且靠海的温州市区, 甚至在洞头区海岛也出现了降雪, 实属少见, 因为在 2016 年 1 月受世纪大寒潮的影响时, 在广州都出现降雪的情况下, 温州市区也没出现降雪。7 日 9 时(北京时, 下同)左右温州市区开始出现降雪, 一直持续到傍晚。从 7 日 20 时温州地区及周边积雪深度分布图上可见(图 1(b)), 此次降雪过程较弱, 仅温州最西部的高山地区有少量积雪外, 温州其余大部分地区均无积雪覆盖。虽然温州市区积雪不明显, 降雪也对交通、农业、电力、通讯等行业造成了一定影响和损失。



(a)

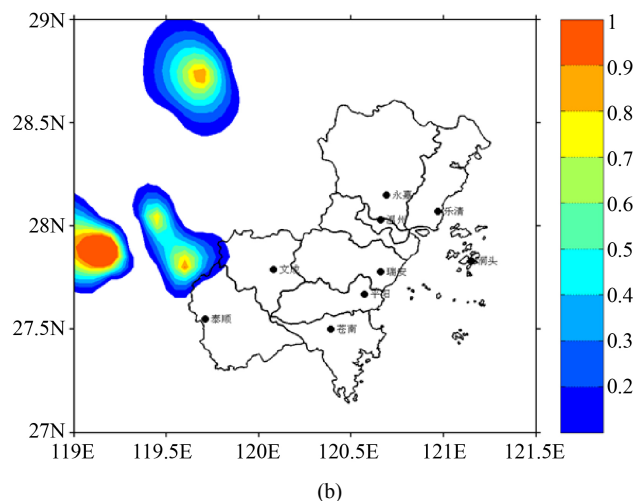


Figure 1. Distribution of (a) weather phenomenon at 11:00 BT and (b) snow depth (unit: cm) at 20:00 BT on 7 January 2021 at different stations in Wenzhou and its surrounding areas

图 1. 温州地区及周边各站 2021 年 1 月 7 日 11 时天气现象(a)和 20 时积雪深度(b) (单位: cm)分布

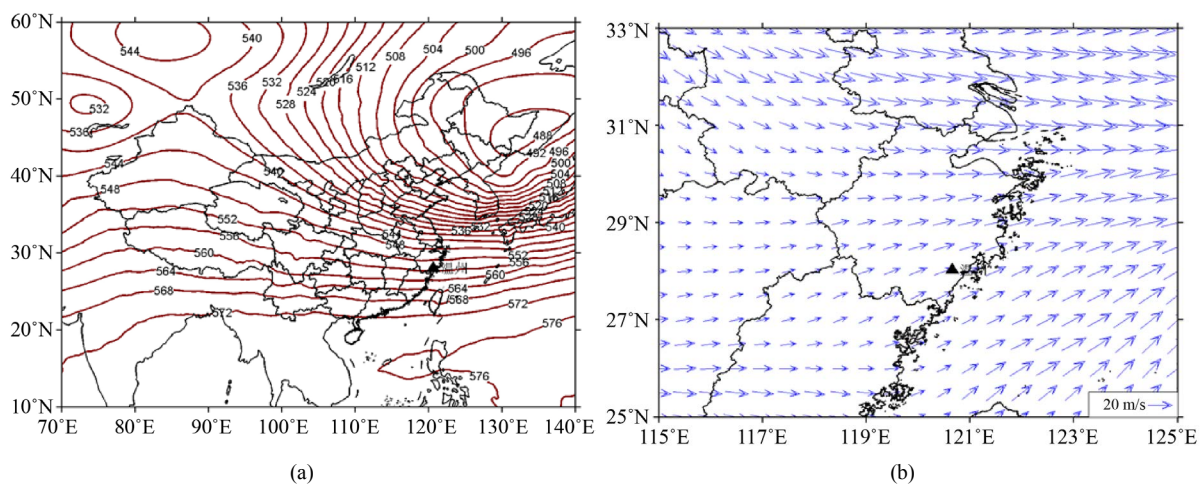
4. 大尺度环流特征

2021 年 1 月 7 日 8 时, 在 500 hPa 环流形势主要表现为西高东低, 长波脊位于巴尔喀什湖附近, 脊线在 85°E, 亚洲东岸大低涡向西伸出一个东西向横槽, 槽前后是东北风和西北风的切变, 槽线在 50°N, 槽前有强冷空气(图 2(a)). 横槽转竖, 有利于强冷空气向南爆发, 与南方暖湿气流交汇, 形成降雪。

2021 年 1 月 7 日 8 时, 浙江中南部在 700 hPa 风场上存在明显的西南气流, 气流风速较大, 整个温州地区受西南急流控制, 西南气流与北部的西北气流在 30°N 附近汇合(图 2(b)). 850 hPa 风场上, 干冷的西北气流从浙江北部进入并往南转为偏北气流, 温州地区受偏北气流控制(图 2(c)).

5. 热力场特征

图 3 是 2021 年 1 月 7 日 8 时温州站的温度 - 对数压力图(T-lnP)。由图可见, 温度和露点温度差 $T - T_d \leq 2^\circ\text{C}$, 饱和层从 825 hPa 开始延伸到 500 hPa, 说明此次过程的云底高度较高, 云层厚度较浅薄, 但云顶



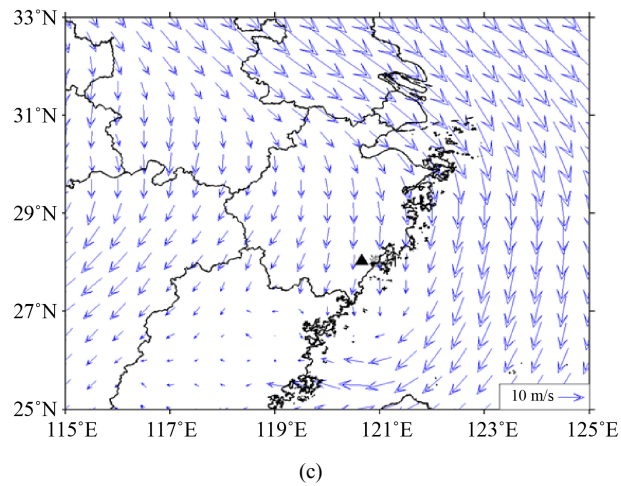


Figure 2. Distribution of (a) 500 hPa geopotential height (unit: dagpm), (b) 700 hPa wind (unit: m/s) and (c) 850 hPa wind (unit: m/s) at 8:00 BT on 7 January 2021

图 2. 2021 年 1 月 7 日 8 时 500 hPa 位势高度(a, 单位: dagpm)、700 hPa 风场(b, 单位: m/s)和 850 hPa 风场(c, 单位: m/s)分布

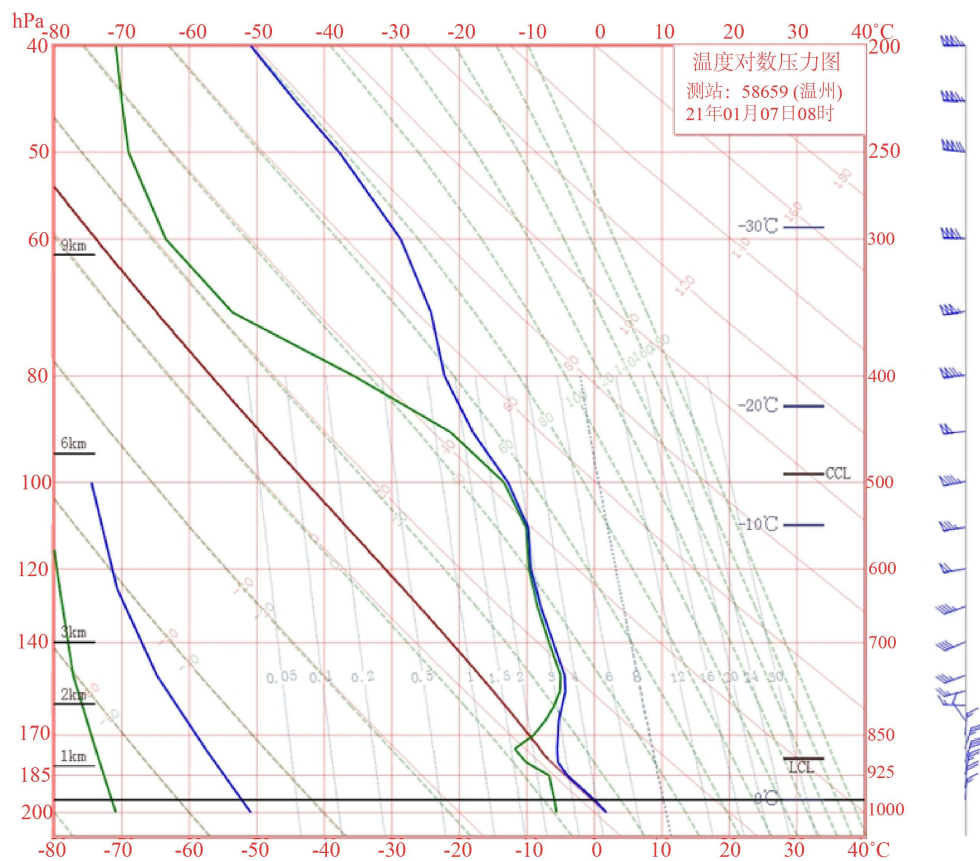


Figure 3. T-lnP chart at Wenzhou station at 08:00 BT on 7 January 2021

图 3. 2021 年 1 月 7 日 8 时温州站 T-lnP 图

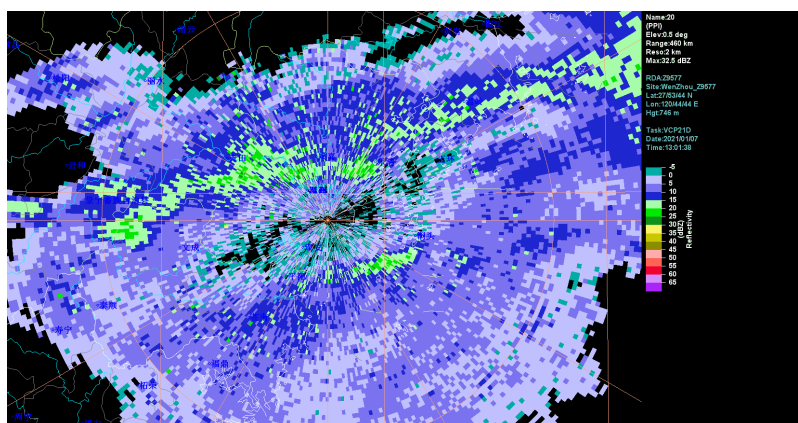
高度 500 hPa 温度达到 -12.8°C , 加上整个云层温度都在 -4°C 以下, 有利于冰晶和雪花的形成。另外, 950 hPa 以上高度的温度均低于 0°C , 不利于雪花的融化, 零度层高度又很低, 位势高度只有 446 gpm, 雪花

来不及融化就已经降落到地面, 这些条件都有利于降雪的形成。从图中还可以看到, 875 hPa 温度 -5.5°C , 750 hPa 温度 -4.4°C , 对流层中低层存在明显的逆温结构。

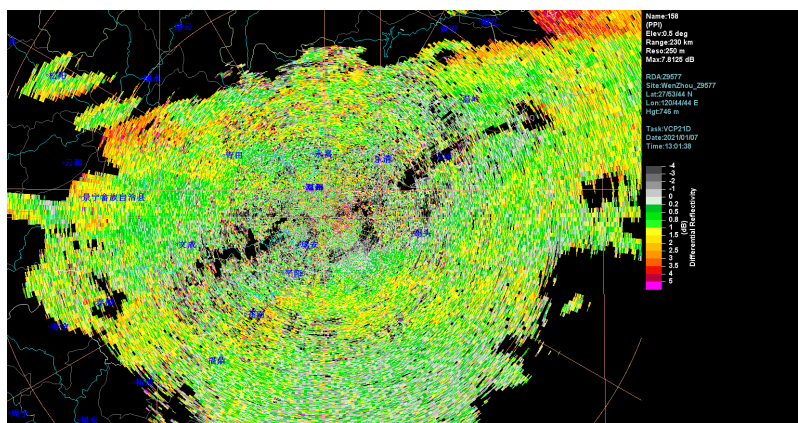
6. 降雪的偏振特征

相比于普通多普勒雷达, 双偏振雷达的优势是能够发射和接收水平偏振和垂直偏振的两种电磁波, 不仅可以获得单偏振雷达的参量, 还可获得更多的双偏振参量, 如零滞后相关系数 CC、差分反射率 ZDR 和差分相移率 KDP 产品, 通过反演分析, 可以获得大气中粒子的形状、尺寸、粒子浓度及相态分布等详细信息。CC 反映水平偏振和垂直偏振回波功率之间的相关系数, 其大小与粒子的轴比、倾斜角、形状不规则性以及相态有关。当大气中的水凝物粒子为水平和垂直尺寸差距较小的小雨滴、干雪等粒子时, CC 一般大于 0.95, 例如冬季的降雪过程。ZDR 表示水平极化和垂直极化回波的反射率因子之比的对数, 与粒子总数在不同尺寸上的分布有关, 是识别不同相态降水粒子的重要参数。一般来说, 降雪粒子的水平和垂直尺寸差距较小, ZDR 值较小。KDP 是指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, 表征不同偏振在传播路径上, 因传播系数不同引起的相位变化。一般在冬季降雪条件下, KDP 值较小。

图 4 为 1 月 7 日 13:01 温州双偏振雷达产品 0.5° 仰角的 PPI 图。从图 4(a) 的水平反射率因子 ZH 上可以看到有一条东北-西南走向的带状弱回波带, 位于温州市区西部和文成县西部, 范围在 50~100 km, 回波强度普遍低于 25 dBz, 降雪表现为弱降水回波。从图 4(b) 的差分反射率因子 ZDR 上可以看出, 位于温州市区西部和文成县西部的降雪回波的 ZDR 较小, 普遍在 1 dB 以下。从图 4(c) 的差分相移率 KDP 上



(a)



(b)

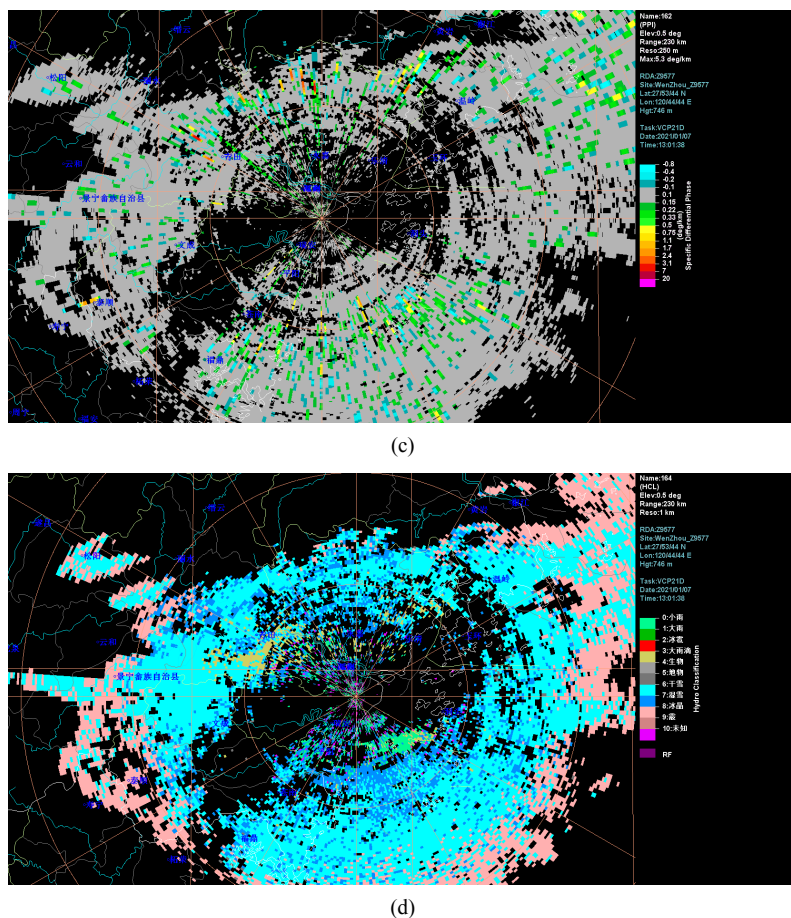


Figure 4. PPI charts of (a) ZH, (b) ZDR, (c) KDP and (d) HCL at 0.5° elevation angle from Wenzhou dual polarization radar at 13:01 BT on 7 January 2021

图 4. 2021 年 1 月 7 日 13:01 温州双偏振雷达 0.5°仰角 ZH (a)、ZDR (b)、KDP (c) 和 HCL (d) 产品 PPI 图

可以看出, 降雪回波的 KDP 值较小, 绝对值小于 0.15 deg/km。从图 4(d) 的粒子相态分类产品(HCL)可以看出, 距离温州雷达站 50 km 附近的温州市区西部区域粒子属性为大雨滴、干雪和湿雪, 虽然对小范围的大雨滴和湿雪有误判, 但大部分区域判断出了干雪, 结果基本正确, 距离温州雷达站 100 km 的文成县西部区域粒子属性为干雪, 判断结果较好。

综上, 此次温州市区冬季弱降雪过程的双偏振雷达回波产品降雪特征为水平反射率因子 ZH 低于 25 dBz, 差分反射率 ZDR 较小, 在 1 dB 以下, 差分相移率 KDP 值较小, 绝对值小于 0.15 deg/km, HCL 产品对降雪的判断有较好的参考价值。

7. 结论和讨论

本文通过对 2021 年 1 月 7 日温州地区降雪过程的分析, 得到了这次降雪天气的成因, 同时使用温州双偏振雷达探测产品, 分析了降雪的双偏振特征。结果表明:

(1) 此次降雪过程的环流形势表现为西高东低, 引发降雪的主要天气系统是亚洲东岸大低涡及其向西伸出的横槽、700 hPa 的西南风急流。

(2) 在云底高度较高、云层厚度较浅薄的情况下, 云顶温度较低、零度层高度较低、中层以下平均温度较低、无明显的中层暖层和中低层明显的逆温结构有利于降雪的形成。

(3) 降雪的双偏振雷达回波产品的特征是: 水平反射率因子较小, 低于 25 dBz; 差分反射率因子较小, 在 1 dB 以下; 差分相移率较小, 绝对值小于 0.15 deg/km。HCL 产品对降雪的判断有较好的参考价值。

需要指出的是, 文中得到的温州地区降雪的 S 波段双偏振雷达观测特征仅基于一次冬季降雪过程的个例分析。浙江南部沿海山区降雪的普遍 S 波段双偏振雷达观测特征, 特别是区别于浙江北部平原地区的一些观测特点和原因, 有待于更多的降雪个例研究, 同时文中以定性分析为主, 各个 S 波段双偏振参量之间的定量关系也需要进一步研究。

基金项目

温州市气象局项目(2018ZD01)资助。

参考文献

- [1] 钱卓蕾, 张建海. 2010~2011 年冬季浙江两次强降雪天气过程对比分析[J]. 科技导报, 2011, 29(13): 66-74.
- [2] 沈玉伟, 孙琦旻. 2010 年冬季浙江两次强降雪过程的对比分析[J]. 气象, 2013, 39(2): 218-225.
- [3] 周鹏, 沈澄, 刘冬晴, 等. 2014 年南京两次弱降雪过程的对比分析[J]. 气象科学, 2015, 35(4): 514-520.
- [4] 张萍萍, 吴翠红, 祁海霞, 等. 2013 年湖北省两次降雪过程对比分析[J]. 气象, 2015, 41(4): 418-426.
- [5] 裴宇杰, 王福侠, 张迎新, 等. 2009 年晚秋河北特大暴雪多普勒雷达特征分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 1110-1118.
- [6] 苗爱梅, 安炜, 刘月丽, 等. 春季一次暴雪过程的多普勒雷达动力学诊断[J]. 气象, 2007, 33(2): 57-61.
- [7] 卢秉红, 杨青, 高松影, 等. 两次不同类型暴雪的雷达回波特征分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(5): 836-840.
- [8] 程周杰, 刘宪勋, 朱亚平. 双偏振雷达对一次水凝物相态演变过程的分析[J]. 应用气象学报, 2009, 20(5): 594-601.
- [9] 徐月飞, 蓝俊倩, 顾振海, 等. 基于雷达校正的雨量插值研究[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2015, 7(2): 155-158.
- [10] 杨通晓, 王振会, 王蕙莹, 等. 双基地偏振雷达探测时小旋转椭球雨滴的侧向散射特性[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2014, 6(3): 249-256.
- [11] 吴杨, 赵放, 孔照林, 等. 浙江地区 2015 年冬季首场降雪的气象特征及双偏振雷达回波特征分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2018, 56(4): 103-109.
- [12] 刘黎平, 钱永甫, 王致君. 用双线偏振雷达研究云内粒子相态及尺度的空间分布[J]. 气象学报, 1996, 54(5): 590-598.
- [13] Zrníc, D.S., Ryzhkov, A., Straka, J., et al. (2001) Testing a Procedure for Automatic Classification of Hydrometeor Types. *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology*, **18**, 892-913. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2001\)018<0892:TAPFAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2001)018<0892:TAPFAC>2.0.CO;2)
- [14] Aydin, K. and Singh, J. (2004) Cloud Ice Crystal Classification Using a 95 GHz Polarimetric Radar. *Journal of Atmospheric & Oceanic Technology*, **21**, 1679-1688. <https://doi.org/10.1175/JTECH1671.1>
- [15] 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.
- [16] 刘黎平, 张鸿发, 王致君, 等. 利用双线偏振雷达识别冰雹区方法初探[J]. 高原气象, 1993, 12(3): 333-337.
- [17] 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.
- [18] 汪舵, 刘黎平, 吴翀. 基于相态识别的 S 波段双线偏振雷达最优化定量降水估测方法研究[J]. 气象, 2017, 43(9): 1041-1051.
- [19] 苏德斌, 马建立, 张蕾, 等. X 波段双线偏振雷达冰雹识别初步研究[J]. 气象, 2011, 37(10): 1228-1232.
- [20] 孙丝雨, 沈永海, 霍苗, 等. 双线偏振雷达在一次强降雪过程中的初步应用[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 249-255.