

冯晋勤, 汤达章, 俞小鼎, 等. 新一代天气雷达中气旋识别产品的统计分析[J]. 气象, 2010, 36(8): 47-52.

新一代天气雷达中气旋识别产品的统计分析^{*1}

冯晋勤^{1,2} 汤达章¹ 俞小鼎³ 张红梅² 陈秋萍⁴

1 南京信息工程大学, 南京 210044

2 福建省龙岩市气象局, 龙岩 364000

3 中国气象局培训中心, 北京 100081

4 福建省气象台, 福州 350001

提 要: 利用福建龙岩新一代天气雷达资料对 2003—2007 年中气旋产品进行统计分析, 重点对经人为判定确认为中气旋, 并持续 3 个体扫以上中气旋特征及其对应风暴的特征进行分析。分析表明: 持续 3 个体扫以上中气旋对应风暴与冰雹、雷雨大风、短时强降水等强对流天气的产生有很好的对应关系, 通过对典型强对流天气过程分析, 得出了中气旋发展高度、最强切变高度变化规律, 切变、中气旋强弱与不同类型强对流天气的对应关系。为预报员及时准确预报短时强降水、冰雹、雷雨大风提供参考依据。

关键词: 新一代天气雷达, 中气旋, 超级单体风暴, 强对流

The Accuracy Statistics of Mesocyclone Identification Products from CINRAD/SA

FENG Jinqin^{1,2} TANG Dazhang¹ YU Xiaoding³ ZHANG Hongmei² CHEN Qiuping⁴

1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Longyan Meteorological Office of Fujian Province, Longyan 364000

3 CMA Training Center, Beijing 100081

4 Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001

Abstract: By using radar data of Longyan CINRAD/SA from 2003 to 2007, the mesocyclone products were statistically analyzed. The characteristics of mesocyclones determined by person and the persistent three volume scanings and corresponding storm are mainly analyzed. The analysis shows that the mesocyclone which has more than three volumes scanings is well related with strong weather phenomena such as hail, thunderstorm, short-time strong rainfall and so on. Based on the analysis of the typical strong weather processes, we can conclude the variation rules of the mesocyclone height and the largest shear's height, and the correspondence relationship among the shear, the strong or weak mesocyclone and different types of strong weather. Therefore, the above conclusins will provide references for forecasters to predict short-time strong rainfall, hail, thunderstorm timely and accurately.

Key words: CINRAS, mesocyclone, supercell storm, strong convection

引 言

中气旋是与强对流风暴的上升气流和后侧下沉

气流紧密相联的小尺度涡旋, 该涡旋满足或超过一定的切变、垂直伸展和持续性判据^[1], 是超级单体风暴的特征, 同时大部分中气旋伴有短时大风、冰雹、龙卷等强对流天气。中气旋的识别可通过新一代天

* 福建省气象局开放式气象科学研究基金计划项目(2008K02), 福建省科技厅区域重大项目: 龙岩强对流天气灾害及次生灾害关键技术研究(项目编号: 2009Y3005), 福建省科技厅重点项目: 强对流天气短时临近预报预警系统研制(项目编号: 2008Y0027)

2009 年 7 月 18 日收稿; 2009 年 11 月 10 日收修定稿

第一作者: 冯晋勤, 主要从事短期、短时天气预报. Email: lyfiq@hotmail.com

气雷达的径向速度回波特征进行判别,同时,新一代天气雷达提供的中气旋导出产品也可进行判断。近年来,广大气象工作者应用新一代天气雷达的中气旋产品开展研究^[2-10],朱君鉴等^[2]进行了中气旋产品与强对流天气关系的初步研究^[2-10],夏文梅等^[3]对一次雷雨大风和短时强降水过程中多普勒天气雷达探测中气旋进行分析,方翀等^[4]利用 5 年安徽雷达资料统计中气旋产品的特征与强对流天气相互关系。廖玉芳、俞小鼎等^[5]对湖南超级单体风暴的多普勒天气雷达回波结构、超级单体中气旋最大旋转速度和最大切变、最大垂直伸展厚度等特征进行了分析总结。

利用径向速度回波特征进行中气旋识别需满足一定的切变、垂直伸展和持续性的判据,在短时临近预报中由于需要快速地发布预警,识别受到时间限制。因此,若能利用中气旋导出产品进行判断,可缩短判别的时间,快速发布短时临近预报。文中利用福建龙岩新一代天气雷达资料对 2003—2007 年的中气旋识别产品进行统计分析,在统计中气旋产品准确率的同时,对持续 3 个体扫以上中气旋特征的风暴,进行风暴类型和结构特征,中气旋的切变、伸展高度及其反射率因子等分析,通过分析中气旋特征与强对流天气的相互关系及其判别指标,为预报员进行雷雨大风、冰雹等强对流天气的短时临近预报提供参考依据。

1 资料选取及中气旋时空分布特征

1.1 中气旋算法

我国现运行的 CINRAD/SA 使用的是 WSR-88D 第 10 版算法,包括:一维搜索和型矢量、二维特征和垂直相关与分类。中气旋产品是用来显示与非相关切变、三维相关切变及中气旋 3 种切变识别的有关信息。只有在两个仰角探测到切变并且是对称性的,才称为中气旋。在其匹配产品中显示中气旋顶和底的高度、最强切变所在的高度及相应的切变值等信息^[1]。

1.2 资料选取

利用 2003—2007 年福建龙岩新一代天气雷达资料统计中气旋产品统计中气旋个数,对判定属于同一风暴,但在不同时间出现的中气旋以一个中气旋计。

利用径向速度回波特征进行超级单体中气旋特征识别需满足一定的切变、持续性和垂直范围的判据。在业务应用中,对中气旋的识别有一定的判据,如美国 Oklahoma 州的中气旋判据需持续两个体扫以上^[1]。中气旋识别产品的算法已对切变和垂直特征进行了判断,但在时间连续性上没有体现,方翀等^[3]利用 5 年安徽雷达资料统计中,发现持续时间在 3 个体扫以上的中气旋与雷雨大风和龙卷有很好的对应关系,朱君鉴等^[2]统计中气旋产品与强对流天气关系指出,并不是每一个出现中气旋产品的风暴都与冰雹等强天气对应,探测到维持较长时间中气旋的超级单体必定产生冰雹,说明要将中气旋产品与强对流天气相对应,也需要满足时间持续性的条件。因此,文中应用上述研究成果,重点对经人为判定确认为中气旋,并持续 3 个体扫以上的中气旋的风暴进行分析,并对风暴的类型和结构特征以及中气旋切变、伸展高度等进行统计分析。

经统计 5 年共 41 天 29 个天气过程出现 340 个中气旋,其中判定为正确的中气旋 190 个,出现次数 501 次,持续 3 个体扫以上的中气旋有 41 个,错误的中气旋 150 个。以下统计若无特别说明,只统计正确的中气旋产品。

1.3 中气旋时空分布特征

从季节分布看(图 1),84.2%的中气旋出现在 3—5 月份。这与闽西南强对流天气主要出现在春季及夏初是一致的。从时间分布看,143 个中气旋生成时间出现在 12—20 时(图 2),占中气旋总数的 75.3%,501 次中气旋共有 375 次出现在 12—20 时,占 74.9%。这与白天低层大气的辐射增热对于强对流的产生起了重要作用,午后易出现强对流的时段是一致的。从距离分布看(图 3),91.8%的中气旋出现在 30~130 km 处,远距离处探测中气旋

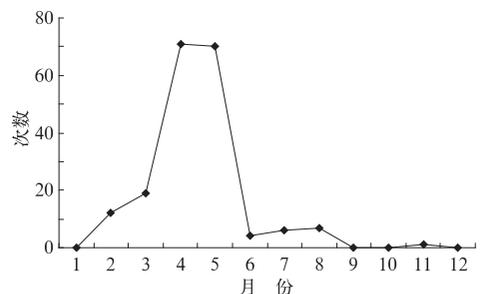


图 1 中气旋季节分布

Fig. 1 The seasonal distribution of mesocyclone

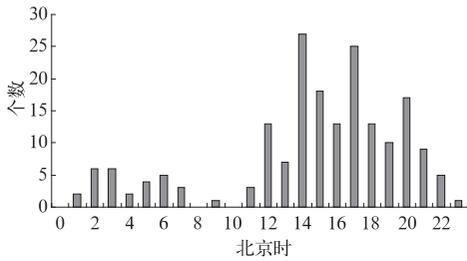


图 2 中气旋时段分布

Fig. 2 The time period distribution of mesocyclone

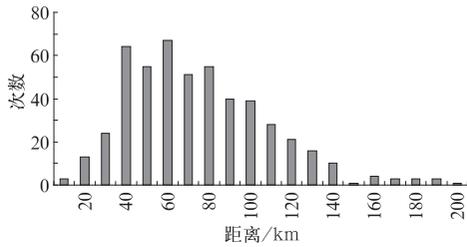


图 3 中气旋距离分布

Fig. 3 The detecting range distribution of mesocyclone

有难度,主要是由于随距离增加波束中心高度上升及波束宽度展宽使中气旋探测有很大困难。

1.4 中气旋产品误判分类

在统计中气旋产品时,发现中气旋产品的误判率比较高,共出现 150 个错误的中气旋,占中气旋总数的 44%,分析原因主要有以下几种:一是在 146 km 处低仰角(0.5°或 1.5°仰角)有一速度区相反小块,共有 125 个错误,占有所有中气旋总数的 35.8%。分析其原因可能由于 150 km 为 CINRAD/SA 在低仰角探测时的最大不模糊距离,在该处处理速度数据距离折叠问题时引起中气旋识别的误判^[1];二是地物杂波未去除干净引起的误判,共有 9 个错误;三是由于未经速度退模糊,正负速度最大值对误判为中气旋而引起的错误,共有 16 个错误。因此,在应用中气旋产品进行短时临近预报时,首先应结合速度图、反射率等资料进行人为判定该中气旋正确与否。

2 持续 3 个体扫以上中气旋的风暴和中气旋特征

2.1 风暴类型及回波特征

持久深厚的几千米尺度的涡旋——中气旋是超

级单体风暴最本质的特征,1978 年,Browning 最早指出超级单体风暴最本质的特征是旋转^[11],1993 年 Doswell^[12] 和 Burgess^[13] 正式提出重新定义超级单体为具有持久深厚中气旋的对流风暴。持续 3 个体扫以上中气旋的风暴已满足时间持续性的要求,那该风暴是否一定是超级单体风暴?为此,我们再从风暴的结构、反射率因子等特征进行综合判断,发现 41 个对流风暴中共有 32 个对流风暴为超级单体风暴,9 个为多单体强风暴或强风暴单体。由此可以看出,虽然超级单体具有中气旋的特征,但并不是出现持续中气旋特征的风暴即为超级单体风暴,也就是说持久深厚的中气旋特征是超级单体风暴的必要而非充分条件。

持续中气旋对应风暴的最大反射率因子平均达 59 dBz,与本站统计的强对流强回波中心平均值一致^[14],最强达 72 dBz,最小为 40 dBz。基于风暴的垂直累积液态含水量平均值达 30 kg·m⁻²,最强达 70 kg·m⁻²,垂直累积液态含水量平均密度值达 3.2 kg·m,最强达 7.3 kg·m,若以冰雹、雷雨大风及强降水分类统计,最大反射率因子分别平均达 61.9 dBz、59.5 dBz、52.7 dBz。垂直累积液态含水量平均密度值分别达 4.0 kg·m、3.1 kg·m 和 1.8 kg·m。同时,经统计 98.4% 的持续中气旋对应风暴持续时间超过 1 小时,最长达 5 个半小时;对应中气旋特征持续最长时间达 60 min,最短为 18 min。

2.2 持续 3 个体扫以上中气旋对应风暴与所产生的强对流天气对应关系

经统计,41 个对流风暴中出现雷雨大风或冰雹强对流天气共有 30 个,其中冰雹 13 次,雷雨大风 17 次,8 次短时强降水,3 个收集不到实况以未知定,出现雷雨大风或冰雹强对流天气占 73.2%,若将短时强降水加入则强天气占 92.6%。与美国的 90% 的中尺度气旋总是与某种形式的强天气(如冰雹、暴雨、灾害性大风等)联系在一起判据基本一致。

2.3 风暴出现时空特征

85.4% 的风暴出现在 3—5 月份(图 4),35 个中气旋出现在 12—00 时,6 个出现在 00—08 时(图 5),午后易出现强对流,这主要是白天低层大气的辐射增热对于强对流的产生起了重要作用^[14]。83.8% 的持续中气旋出现在 30~110 km 处。出现

持续中气旋都出现在风暴发展的强盛时期。

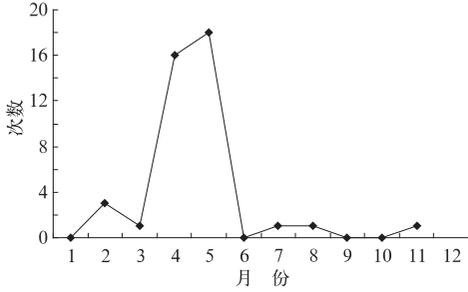


图 4 持续 3 个体扫以上中气旋季节分布
Fig. 4 The seasonal distribution of the mesocyclone with the persistent three or more volume scanings

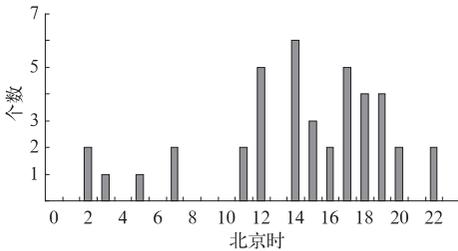


图 5 持续 3 个体扫以上中气旋时段分布
Fig. 5 The time period distribution of the mesocyclone with the persistent three or more volume scanings

2.4 中气旋特征

79.9%的中气旋底在 4 km 以下,顶在 3 km 以上,10 km 以下。中气旋切变平均值达 $1.4 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$,41.4%的中气旋切变大于 $1.0 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$,最大值达 $3.9 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$;过程平均最强切变出现在 2006 年 5 月 1 日,达 $28.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。将出现的强对流天气按冰雹、雷雨大风及强降水分类统计计算,冰雹过程平均切变达 $11.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,雷雨大风的平均切变为 $9.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,而强降水的平均切变为 $7.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。根据中气旋识别的转动速度判据^[1],计算 41 个中气旋 187 次的中气旋强度,共有 39 次达强中气旋、52 次中等强度中气旋、98 次弱中气旋标准,可以看出达中等以上强度的中气旋只占一半左右。若以 41 个中气旋最大转动速度计算,有 12 个达强中气旋、12 个达中等强度中气旋、17 个达弱中气旋,中等以上强度的中气旋达 58.5%。64.3%以上的冰雹天气的中气旋达中等强度以上,50%以上的雷雨大风天气的中气旋达中等强度以上,而强降水天气达中等以上强度仅为 36.4%。

2.5 中气旋个例分析

由于福建西部地处山区,出现的强对流天气实况有时难以准确获取,文中仅举实况出现强天气的 2003 年 5 月 16 日短时强降水、2004 年 11 月 10 日冰雹及 2005 年 3 月 22 日飏线大风 3 个个例分析其中的中气旋特征。

2003 年 5 月 16 日夜里受低空切变线维持和地面静止锋缓慢南压共同影响,龙岩市出现强降水天气,长汀 1 小时降水达 42.6 mm,连城 1 小时降水达 24.4 mm,上杭 19 时 56 分出现 $13.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 大风,1 小时降水达 27.6 mm,龙岩 1 小时降水达 22.2 mm。此次过程共出现 3 个超级单体风暴中气旋,从中气旋顶高及最强切变高度变化无规律。影响长汀中气旋持续 24 分钟,转动速度计算达中等强度中气旋,过程平均切变达 $6.8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,平均强回波中心达 50 dBz,最强达 51 dBz;影响连城中气旋持续 30 分钟,转动速度计算为弱中气旋,过程平均切变达 $8.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,平均强回波中心达 52.4 dBz,最强达 58 dBz;影响上杭中气旋持续 18 分钟,转动速度计算为弱中气旋,过程平均切变达 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$,平均强回波中心达 56 dBz,最强达 59 dBz。

2004 年 11 月 10 日受西南暖湿气流和低空切变共同影响,上杭县先后有十几个村庄出现冰雹,冰雹直径为 3~4 cm,降雹最大直径达 4.5 cm^[10]。分析超级单体在强盛阶段中气旋持续了 42 分钟,中气旋发展的高度从低层向高层不断上升,最强切变中心随之上升,15 时 06 分中气旋发展到 7.4 km 处(图 6),随后出现降雹,最强切变中心有一突降过程,切变的顶高也随之下降。过程平均强回波中心

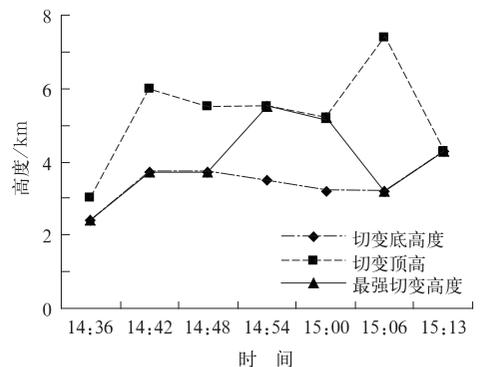


图 6 2004 年 11 月 10 日中气旋高度变化
Fig. 6 The height variation of the 10 November 2004 mesocyclone

达 69 dBz, 最强达 72 dBz, 过程平均切变达 $12.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。从转动速度计算达强中气旋标准。垂直累积液态含水量平均密度值分别达 $5.0 \text{ kg} \cdot \text{m}$, 符合垂直累积液态含水量平均密度超过 $4.0 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 产生大雹的判据。

2005 年 3 月 22 日受高空槽东移、低层切变南压及地面锋区南压影响, 一南北向的飏线经过上杭、永定、龙岩、漳平出现了 8 级以上大风。分析飏带头部超级单体在强盛阶段中气旋特征持续了 30 分钟, 14 时 38 分中气旋生成时顶高高度已发展到 8.4 km 处, 最强切变区也在此高度, 后中气旋顶高开始下降, 最强切变中心也随之下降, 上杭 14 时 51 分出现了 $19.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 大风, 中气旋顶已降至 6.7 km, 最强切变高度降至 5.4 km, 后随着飏线头部减弱, 中部加强, 头部中气旋特征消失(图 7)。中气旋过程平均强回波中心达 57 dBz, 最强达 61 dBz, 过程平均切变达 $12.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。从转动速度计算达中等强度中气旋标准。

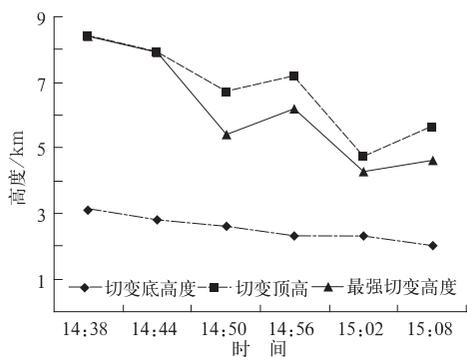


图 7 2005 年 3 月 22 日中气旋高度变化

Fig. 7 The height variation of the 22 March 2005 mesocyclone

2.6 风暴中气旋特征判别强对流天气临近预报流程

通过上述统计分析可以看出, 92.6% 的持续 3 个体扫中尺度气旋对应的风暴总是与冰雹、雷雨大风、短时强降水等强天气相联系, 因此在业务上, 可将持续 3 个体扫以上的中气旋作为强对流天气出现的判据之一。并根据切变值、回波反射率强度、VIL 密度等进行强对流天气类型的综合判断, 冰雹过程平均切变达 $11.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 雷雨大风的平均切变为 $9.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, 而强降水的平均切变为 $7.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。若达到中等强度以上的中气旋可以考虑发布雷雨大风、冰雹的预警。

3 结 论

(1) 大部分中气旋出现在 3—5 月份, 生成时段出现在 12—20 时及 30~130 km 处, 从中气旋的季节分布及生成时段与强对流天气的季节分布和生成时段是一致的。

(2) 仅使用中气旋产品进行中气旋判定的误判率比较高, 在应用中气旋产品进行短时临近预报时, 首先应结合速度图、反射率等资料进行人为判定该中气旋正确与否。

(3) 风暴持续 3 个体扫以上的中气旋特征表现在: 中气旋底一般在 4 km 以下, 顶在 3 km 以上, 10 km 以下; 将强对流天气分类统计, 从过程平均切变及转动速度计算, 冰雹最大, 雷雨大风次之, 而强降水最小。根据中气旋识别的转动速度统计, 中等以上强度的中气旋达 58.5%。64.3% 以上的冰雹天气的中气旋达中等强度以上, 50% 以上的雷雨大风天气的中气旋达中等强度以上, 而强降水天气达中等以上强度仅为 36.4%。

(4) 经统计, 大部分持续 3 个体扫以上中气旋对应风暴属超级单体风暴, 虽然超级单体具有中气旋的特征, 但并不是出现持续中气旋特征的风暴即为超级单体风暴, 也就是说持久深厚的中气旋特征是超级单体风暴的必要而非充分条件。92.6% 的风暴总是与冰雹、雷雨大风、短时强降水等强天气相联系, 可将风暴出现持续 3 个体扫以上的中气旋特征作为强天气预报的一个判据。

(5) 典型个例分析表明, 冰雹、大风类强对流天气出现时在中气旋特征上表现为: 中气旋顶高开始下降, 最强切变中心也随之下降。而短时强降水则无此规律。

(6) 通过持续 3 个体扫以上中气旋对应风暴的统计分析, 建立了中气旋特征与冰雹、雷雨、大风等灾害性天气的临近预报流程。

参考文献

- [1] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2006, 116-120, 207-209.
- [2] 朱君鉴, 王令, 黄秀韶, 等. CINRAD/SA 中气旋产品与强对流天气 [J]. 气象, 2007, 31(2): 38-42.
- [3] 夏文梅, 徐芬, 吴海英, 等. 多普勒天气雷达探测中气旋分析

- [J]. 气象科学, 2007, 27(12): 655-660.
- [4] 方翀, 郑媛媛. 新一代天气雷达中气旋产品特征值统计和个案分析[J]. 气象, 2007, 33(11): 16-20.
- [5] 廖玉芳, 俞小鼎, 唐小新, 等. 基于多普勒天气雷达观测的湖南超级单体风暴特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(8): 433-443.
- [6] 李云川, 王福侠, 裴宇杰, 等. 用 CINRAD-SA 雷达产品识别冰雹、大风和强降水[J]. 气象, 2006, 32, 10: 65-69.
- [7] 段丽, 卞素芬, 俞小鼎, 等. 用 SA 雷达产品对京西三次局地暴雨落区形成的精细分析[J]. 气象, 2009, 35(3): 21-28.
- [8] 刘娟, 朱君鉴, 魏德斌, 等. 070703 天长超级单体龙卷的多普勒雷达典型特征[J]. 气象, 2009, 35(10): 32-39.
- [9] 金魏, 曲岩, 安来友. 超级单体引发的龙卷天气过程分析[J]. 气象科技, 2009, 35(3): 36-41.
- [10] 蒋义芳, 吴海英, 沈树勤, 等. 0808 号台风凤凰前部龙卷的环境场和雷达回波分析[J]. 气象, 2009, 35(4): 68-75.
- [11] 邵玲玲, 孙婷, 邬锐, 等. 多普勒天气雷达中气旋产品在强风预报中的应用[J]. 气象, 2005, 31(4): 35-39.
- [12] Browning K A. The structure and mechanisms of hailstorms [G]. Amer Meteor Soc Monograph, 1978, 38, AMS, Boston, 1-36.
- [13] Doswell C A, Burgess D W. 1993. Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. The Tornado: Its Structure, Dynamics, Hazards and Prediction, Geophys. Monogr[R]. 79, Amer. Geophys. Union, 161-172.
- [14] Doswell, C. A., III, 2001: Severe convective storms. Meteor. Monogr. 69, , AMS, Boston, . 1-26.
- [15] 冯晋勤, 林若钟, 肖秀珠. 新一代天气雷达资料在闽中南强对流天气预报中的应用[M]. 龙岩新一代天气雷达重大科研课题论文集, 北京: 气象出版社, 2004: 19-24.
- [16] 童以长, 冯晋勤, 聂德兴. 秋季超级单体风暴 CINRAD/SA 回波特征[J]. 气象科技, 2007, 35(12): 67-69.