

# 三明市强对流天气的风廓线雷达探测分析

沈永生 蒋宗孝 王正廷 官晓东  
(福建省三明市气象局, 三明 365000)

**摘要:** 利用永安风廓线雷达对近年来发生在三明的强对流天气进行特征分析。分析表明: 水平风场上强对流发生前在1500~5000m一般伴有短波影响, 0~500m高度伴有风向随时间旋转, 说明中低层有小槽波动, 近地层有小尺度气旋活动; 降雹天气时, 5~6km最大风速均达25m/s以上, 以西南或偏西风居多, 短时强降水时最大风速达15m/s; 在0~1500m高度出现大风核( $\geq 20\text{m/s}$ )时, 一般伴随降雹天气; 降雹时, 6000m以下一般会出现 $\geq 20\text{m/s}$ 的西南急流, 可探至4000m以下, 同时 $\geq 12\text{m/s}$ 的急流可探至1600m以下; 而强降水 $\geq 12\text{m/s}$ 的急流可探至2000m以下。垂直速度上测站出现降水时其上空均出现 $\geq 4\text{m/s}$ 的垂直速度区, 出现强对流天气时 $\geq 4\text{m/s}$ 的垂直速度区一般会扩展到3600m以上, 强度越强扩展的高度越高; 降雹和短时强降水的最大速度值差别不明显, 但一般降雹时的最大正速度区(3000~5000m)高于强降水的最大正速度区(1000~3000m)。

**关键词:** 风廓线, 强对流, 特征

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.06.008

## Analysis of Wind Profile Radar in the Severe Convective Weather in Sanming

Shen Yongsheng, Jiang Zongxiao, Wang Zhengting, Guan Xiaodong  
(Sanming Meteorological Bureau of Fujian Province, Sanming 365000)

**Abstract:** The characteristics of the severe convective weather in Sanming were analyzed by using wind profile radar of Yong'an. The results show that there was an effect of shortwave between 1500-5000m before the severe convective broke out on horizontal wind field, and the wind direction had revolved with time under 500m. It showed that the weak wave had been moving eastward on middle and low levels, and there was a little-scale rotation circulation on the surface layer. The maximum wind speed reached more than 25m/s during the hail fall, and the direction of wind was mostly west and southwest. The maximum wind speed reached more than 15m/s during the short-time heavy rainfall. It appeared that when the wind speed reached more than 20m/s between 0-1500m, the hail fall often occurred. The southwest jet stream of more than 20m/s often appeared under 6000m and even under 4000m. Meanwhile, the jet stream of more than 12m/s often appeared under 1600m and the jet stream of more than 12m/s often appeared under 2000m during a heavy rainfall. The vertical velocity more than 4m/s often appeared during a rainfall, and the vertical velocity of more than 4m/s generally reached 3600m. Additionally, if the vertical velocity was faster, the height was higher. The maximum vertical velocity of a hail fall was not obviously different from a short-time heavy rainfall. However, the area of the maximum positive velocity during a hail fall was larger than that of the short-time heavy rainfall.

**keyword:** wind profile, severe convection, characteristics

### 0 引言

由于高时空分辨率的优势, 风廓线雷达资料在短时强对流天气预报中的应用越来越受到重视。根据风廓线雷达强对流天气越来越广的研究<sup>[1-3]</sup>, 表明利用风廓线雷达可以实时监测水平风的垂直切变及其发展变化全过程, 可弥补常规资料时间间隔长、天气分析难度大等不足。

福建省的三个探空站, 分别位于邵武、福州和厦门, 永安刚好位于这几个探空站间的空白区域, 因而永安风廓线雷达资料不仅弥补了福建省三个探空站间高空资料的空白, 更由于其时空分辨率超过任何一种高空风测量系统, 从而可以显示出短波波动等天气系统连续详实的变化过程。永安市风廓线雷达为固定式边界层风廓线雷达(CFL-03), 能够不间断地提供探测高度0~6km的大气水平风速、风向、垂直气流及大气折射率结构常数等气象要素随高度的分布。

本文利用永安风廓线雷达的有利条件, 对近年来发生在三明的冰雹大风、短时强降水天气进行特征分析。

收稿日期: 2014年5月26日; 修回日期: 2014年10月22日  
第一作者: 沈永生(1976—), Email: 250312413@qq.com  
资助信息: 2013年中国气象局预报员专项

## 1 资料与方法

根据2011年10月—2014年3月三明市强对流（短时强降水和冰雹大风）时段资料，发现三明市在该时段内共发生冰雹大风天气过程12个。以永安站为代表统计永安大气监测站1h雨量 $\geq 20\text{mm}$ 的天气过程，发现永安大气监测站在该时段内共发生短时强降水天气过程8个。

统计收集相应时段的每6分钟风廓线雷达资料，包括水平风矢量、垂直径向速度和功率谱，对强对流天气发生前后测站上空水平风矢量、垂直径向速度进行时空特征分析。

## 2 2012年4月11日永安强对流天气分析

在所收集的资料中仅2012年4月11日永安测站同时出现冰雹、大风和短时强降水等强对流天气，是风廓线分析的一个很好典型个例，本文首先选取该个例进行详细分析，以发现其中典型特征。

### 2.1 天气概况

2012年4月11日福建中北部出现大范围冰雹大风和短时强降水等强对流天气。此过程中三明市受灾最为严重，全市共有8个县（市）出现降雹，3个县（市）出现大风。作为风廓线雷达所在地的永安在此次过程中共有8个乡镇街道（安砂镇、曹远镇、燕东街道、燕南街道、燕西街道、燕北街道、上坪乡和青水乡）出现冰雹天气，城区测站16:46（北京时间，下同）观测到直径7mm的冰雹，18:34—18:37观测到27.5m/s的大风。全市1h雨量 $\geq 20\text{mm}$ 的测站有4个，1h雨量 $\geq 10\text{mm}$ 的测站有15个，占全永安市测站的72%。最大1h雨量为35.2mm，出现在城区。图1为4月11日永安城区1h雨量柱状图，从图中可以看出降水主要集中在17时（17:00—17:59，下同）和19时两个时次，1小时雨量分别为17.4和35.2mm，降雹和大风分别出现在强降水时段前的30~60min。

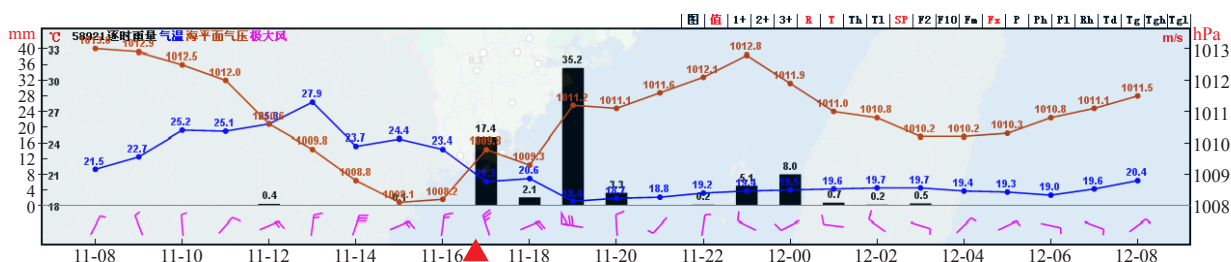


图1 2012年4月11日08时—12日08时永安逐时资料（▲7mm冰雹）

### 2.2 风廓线雷达资料分析

本次个例短时强对流时段集中在16—20时，本文选取11日08—24时16h的风廓线资料进行分析，主要分为四个时段，分别为：11日08—12，12—16，16—20时和11日20—12日00时。

#### 2.2.1 第一阶段短时强对流分析

从图2a中可以发现在08—12时3000m（700hPa，下同）以上为一致的西南气流，大于20m/s的大风从08时的3500m逐渐向下伸展至3200m，3000m高度的风速也由14m/s的偏西风逐步转为16m/s的西南风，西南急流从500hPa向下延伸到700hPa。10:50—12:00从1500m（850hPa，下同）至3000m有一偏西风转西北风，随后转西南风的过程，说明有一浅槽东移。此时，低层北风加强，且向上扩展，12时伸展至750m（925hPa，下同）。

08:00—10:30的1500~3000m永安上空以偏西风为主，750~1500m为西南风，随着时间的推移，南风的分量逐渐增强，风随高度的顺转越来越明显，说明低层暖平流加强。同时，低层南风加强，11:18在

500~1000m出现一大风核——最大风速达16.8m/s的西南风，1500m高度风向迅速转为北风，垂直风切变明显，说明测站上空存在有利于地面气旋发展的中小尺度系统。另外，从400~1600m在10:54前为偏南风，11:24为北风，期间有些数据空白，结合雷达回波此时有降水回波经过测站，数据空白为降水导致水平风计算误差过大而被剔除。

从图2b上看，11:18—11:24在低层（700~1250m）出现一中心达4.1m/s正速度区，且在其上方区域可以看出有弱的正速度区，而在其下方垂直速度较弱。从4m/s的垂直速度所处的高度说明低层750~1200m有雨滴下落，由于雨滴高度较低，雨滴因碰并作用增大效果低于其自身蒸发效果，到近地层测得的垂直速度降低，降水效率较差，实际观测到0.4mm降水。

总体而言，此阶段中层有浅槽过境，低层受小尺度气旋影响，由于南方的暖湿势力较强，永安处于暖区内增温明显，主要为能量积累阶段。

#### 2.2.2 第二阶段短时强对流分析

从图3a中可以发现在3000m以上西南气流继续增强，5000m（500hPa，下同）从观测的数值来看，

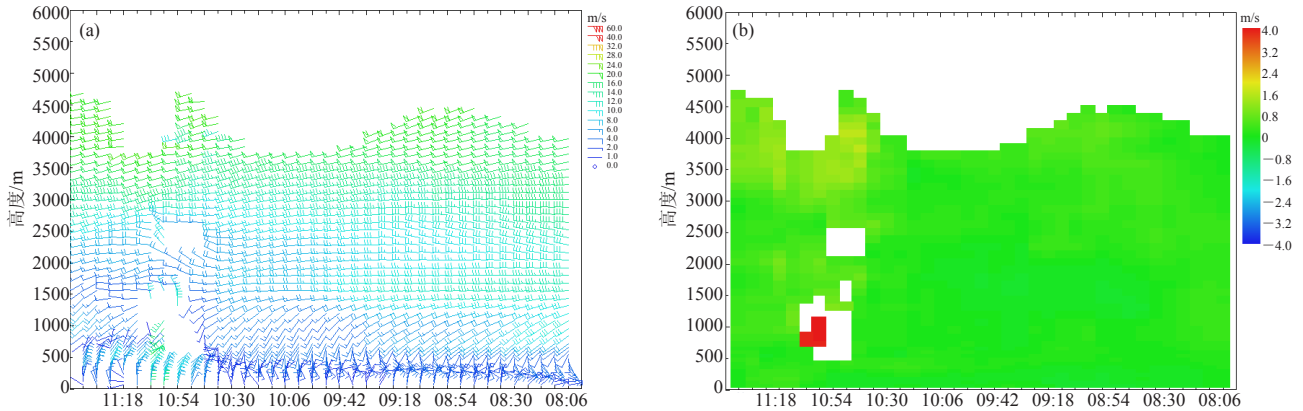


图2 2012年4月11日08—12时水平风速风向 (a) 和垂直速度 (b) 时间-高度分布

最大达24m/s，而在3000m西南风风速也同时增加到20m/s，大于20m/s的大风继续向低层扩展，最低扩至2500m，5000m在14:12—15:06可以看到一个明显的东北转西南风，说明此时500hPa有一槽过境。1500~3000m该阶段仍为西南气流控制，3000m的风速达20m/s，说明西南急流在500和700hPa继续增强。而此时，低层北风则抬升到近1000m。此阶段高层的强盛西南气流不断向低层扩展，而低层的北风同时也不断向高层延伸，同时两者不断加大，垂直风切变

不断增大达 $5.3 \times 10^{-3}/s$ ，有利于风暴的发生发展。在500~1000m有多次南风转北风过程，说明低层小尺度气旋发展活跃。

从图3b上看，此阶段无大于4m/s的垂直速度，实况测站也未发现降水，在14:06左右3000m开始出现1.3m/s的上升速度，说明上升速度午后起开始加强。

总体而言，此阶段中高层仍有浅槽波动，低层气旋多发且高度逐渐发展，南方的暖湿势力依旧强大，永安处于暖区内继续增温，能量继续堆积。

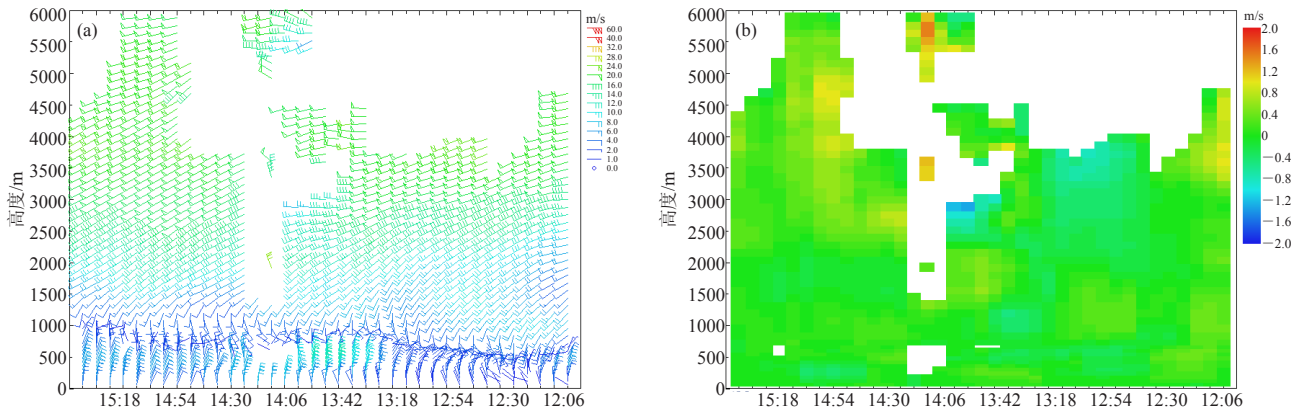


图3 2012年4月11日12—16时水平风速风向 (a) 和垂直速度 (b) 时间-高度分布

### 2.2.3 第三阶段短时强对流分析

16—20时是永安对流风暴发展最为强盛的阶段，其中16:46降雹（直径7mm），18:34—18:37大风（27.5m/s），17和19时则分别出现1h雨量达17.4和35.2mm的强降水。随着超级对流单体发展过境，风廓线雷达资料均出现一定程度的缺失，如16:36—17:12和18:36—19:00。本文通过资料连贯性分析，分析此阶段风场特征。

在图4a中16:30在5000~5500m出现29.1m/s的大风，切变增强，切变层次升高，强对流也开始发展加强。风向不连续线逐渐抬升，冰雹发生前16:30抬升至

1000m以上，而结束后已抬升至1500m。从冰雹结束后17:30的资料可以看出，在800~1500m的高度层出现了西北风，近地面为东北风，而1500m高度层以上仍为西南风，所以在低层为冷平流的情况下，出现了强度很强的降水。

18:30在500~800m高度探测到32m/s的西南风，随后测站上18:34—18:37探测到大风。18:54在6000m高度测到32m/s的西南风，近地面仍然是西北风，以冷平流为主。20:00之后，近地面风向由东北风转向偏南风，700hPa高度又有一波动东移，带来不稳定的降水。

在图4b中，16:30在5000~6000m在已有的资料中

出现一个8.2m/s大的下沉速度区，而在2500m以下均为弱的上升速度区（ $\leq 0.4\text{m/s}$ ），2500~5000m资料缺失，说明冰雹在16:30开始从5000m高空下落，根据连续性可以推断在16:30—17:12应该有一大的下沉速度区及地。18:54—19:54可以发现有一宽广的下沉速度大值区，其发展趋势是大值中心高度逐渐降低，在

19:24之后4000m高度以上下沉速度开始小于4m/s，并逐渐减弱，但在4000m以下下沉速度始终维持在4m/s以上。说明18:54开始强降水开始影响测站，并一直持续至19时，由于上层下沉速度减弱，说明强降水也将随后减弱。

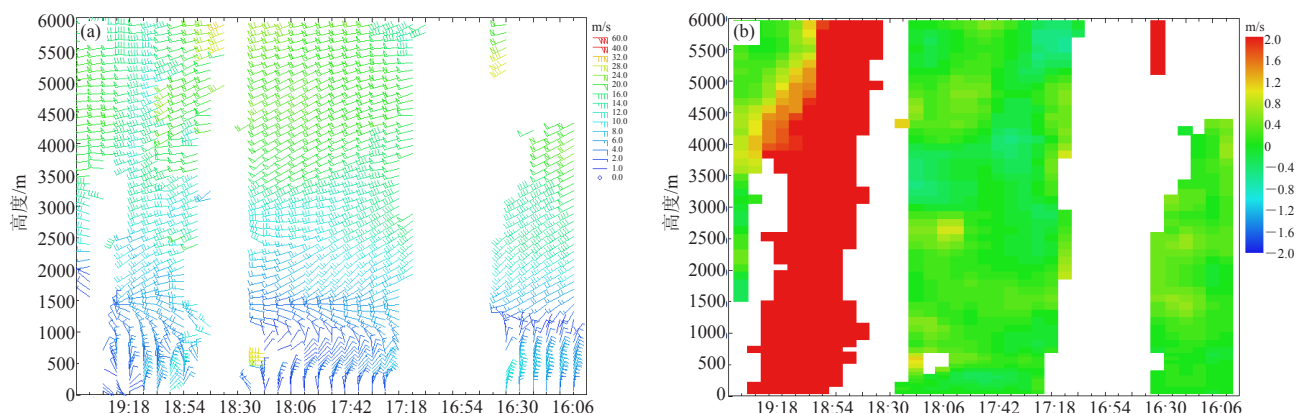


图4 2012年4月11日16—20时水平风速风向 (a) 和垂直速度 (b) 时间高度-分布

#### 2.2.4 第四阶段强降水分析

在图5a中在4000m以上西南气流减弱为以偏西气流为主，23时之后开始转北风且北风加大。在1500~4000m在19:48—21:00有一西北气流转西南气流过程，在22:12—23:06有一西南气流转偏北气流过程，说明冷暖势力在此交汇，低层锋区已压到永安，23:06—23:24的60~6000m为一致偏北风，23:30在1500m以下又转南风，说明地面锋区到达永安。

从水平风速上看，22:18—23:12在3000m以下有一西南偏南风—偏西风—偏北风过程，且500~1500m有一最大风速为27.4m/s的大风核，说明有强风暴过境。从雷达回波（图略）上看到在23时前后永安确实有一风暴经过市区。

从图5b可以看到，有三个时段下沉速度大于4m/s的时段，其中第一时段为19时强降水过程的尾声。第二个时段21:18—21:48，此时测站未检测到降水，考虑此时可能为强风暴外围的下层气流区，与随后发生的低层偏西大风有一定关联。第三阶段22:42—24:00同第三阶段降水时段，有一宽广的下沉速度大值区，其发展趋势是大值中心高度逐渐降低，22—23时出现明显降水，2h雨量合计13mm。

### 3 强对流天气特征统计

对风廓线雷达上能够表征强对流特征的相关数据进行统计（表1），相关数据选取依据：在水平风场方面选取12和20m/s风速的最低稳定高度，即此高

度点上需有1000m高度风速稳定在此风速上，反映急流的强度；0~6km垂直风变；0~1500m大风速核最大风速，可反映在低层是否存在小尺度气旋及其强弱；0~500m高度风向随时间旋转，反映近地层是否存在中小尺度气旋。在垂直速度方面选取下沉速度 $\geq 4\text{m/s}$ 的高度，在降水过程中可反映降水粒子发展的高度；下沉速度最大值，在降水过程中可认为其大小与降水粒子成正比；最大值高度，在降水过程中可认为是大粒子所处高度。

### 4 结论

在水平风场上：

1) 在西风带系统引发的强对流发生前，在水平风场上1500~5000m一般伴有短波影响，0~500m伴有风向旋转，说明中低层有小槽波动，近地层有小尺度气旋活动；台风引发的短时强降水风廓线特征主要受台风的位置和移向影响，受台风环流影响中低层风向、风速一致性较好，仅近地层可能伴有小尺度气旋；副热带高压边沿强对流因其发展的高度较高，强天气发生时中低层均会出现明显的小尺度旋转。

2) 降雹天气时5~6km最大风速均达25m/s以上，以西南或偏西风居多，短时强降水时最大风速均达15m/s以上。

3) 在0~1500m高度出现大风核（ $\geq 20\text{m/s}$ ）时，一般伴随降雹天气。

4) 降雹时6000m以下一般会出现 $\geq 20\text{m/s}$ 的西南急

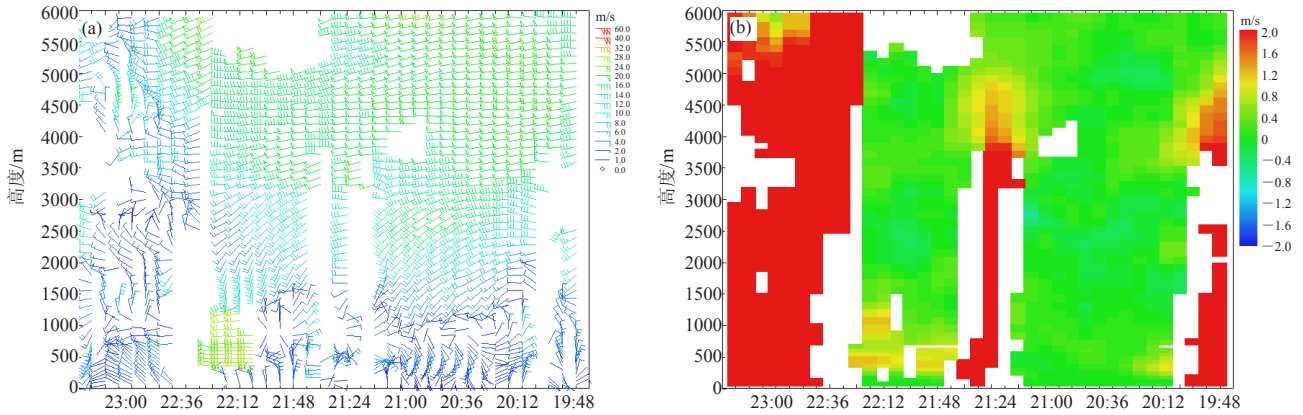


图5 2012年4月11日20—24时水平风速风向 (a) 和垂直速度 (b) 时间-高度分布

表1 2011年10月—2014年3月三明市强对流天气风廓线雷达特征统计

日期	强天气类型	20m/s	12m/s	0~6km	0~1500m	0~500m	≥4m/s	最大值	最大值高度	
		最低高度/m	最低高度/m	垂直风切变/(m/s)	核最大风速/(m/s)	风向旋转	高度/m	/(m/s)	/m	
		水平风场					垂直风场			
2012年04月11日	①②	3600	1560	32.0	30.3	有	6000	8.2	5160	
2012年04月12日	①②	3000	1200	31.9	26.1	有	3800	8.3	3120	
2012年04月15日	①②	2040	1080	31.3	无	有	3720	5.3	2760	
2012年04月28日	①②	无	1200	25.5	无	有	3480	5.4	1200	
2012年05月01日	①②	1920	840	29.2	无	有	4440	8.6	3480	
2013年03月20日	①②	1320	960	46.5	20.4	有	3360	7.1	3000	
2013年03月24日	①②	1920	1080	34.7	无	有	3720	7.2	2640	
2013年04月04日	①②	1440	960	30.7	无	有	3720	8.1	2160	
2013年04月17日	①②	3360	1320	30.0	无	有	3600	6.8	2640	
2014年03月26日	①②	3360	3000	24.2	无	有	无	无	无	
2014年03月27日	①②	3840	1920	27.6	无	有	3600	6.5	3240	
2014年03月28日	①②	2040	1320	24.7	无	有	3120	5.8	1920	
2012年04月25日	②	1200	600	39.6	无	有	4080	9.6	3120	
2012年06月11日	②	无	1920	18.5	无	有	5280	9	3960	
2012年08月03日	③	前期一致偏北气流, 后期台风中心从测站东北侧移至西北侧, 转为一致偏南气流						5040	7	2760
2013年04月18日	②	4080	960	27.1	无	有	4440	7.4	2160	
2013年05月10日	②	3240	1800	23.0	无	有	4200	6.8	3120	
2013年06月04日	②	无	1920	12.9	无	有	4200	8.4	960	
2013年08月26日	④	无	无	28.9	无	各层旋转明显	5760	7.2	2880	
2013年08月30日	③	1000m以上为一致北风, 1000m以下强降水时段伴有风向旋转风速突变特点						5760	8.3	3600

注: ① 冰雹大风, ② 短时强降水, ③ 台风短时强降水, ④ 副热带高压边缘短时强降水。

流, 可探至4000m以下,  $\geq 12\text{m/s}$ 的急流可探至1600m以下; 而强降水 $\geq 12\text{m/s}$ 的急流可探至2000m以下。

在垂直速度上:

1) 测站出现降水时其上空均出现 $\geq 4\text{m/s}$ 的垂直速度区, 出现强对流天气时 $\geq 4\text{m/s}$ 的垂直速度区一般会扩展到3600m以上, 强度越强扩展的高度越高。

2) 降雹和短时强降水的最大速度值差别不明显, 但一般降雹时的最大正速度区(3000~5000m)高于强降水的最大正速度区(1000~3000m)。

由于永安风廓线雷达建站时间短, 测站出现强对流天气的个例明显偏少, 受其制约, 本文把三明区域

出现冰雹大风以及测站出现1h雨量 $\geq 20\text{mm}$ 的个例均作为研究对象, 因个例少, 所以本文仅针对强对流风廓线雷达进行特征分析, 总结的指标具有一定的局限性, 检验效果如何需待在今后的实践中检验并进一步完善。

#### 参考文献

- [1] 顾映欣, 陶祖钰. UHF多普勒风廓线雷达资料的初步分析和应用. 气象, 1991, 17(1): 31-36.
- [2] 李华宏, 曹杰, 杞明辉, 等. 雷达风廓线反演在云南强降水预报中的应用. 高原气象, 2012, 31(6): 271-277.
- [3] 刘淑媛, 郑永光, 陶祖钰. 利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系. 热带气象学报, 2003, 19(3): 63-68.