

Processing and Application of Wind Profile Radar Data during a Precipitation Process

Liangdong Pan¹, Mengke Deng², Chao Chen³

¹Sheyang Meteorological Bureau, Yancheng Jiangsu

²Taizhou Meteorological Bureau, Taizhou Jiangsu

³Dafeng Meteorological Bureau, Yancheng Jiangsu

Email: 375478595@qq.com

Received: Aug. 9th, 2018; accepted: Aug. 23rd, 2018; published: Aug. 29th, 2018

Abstract

The vertical structure of horizontal wind can be clearly revealed from profiler wind product. In order to investigate precipitation process using wind profiler radar, an observation case in Nanjing in the period of July 2010 is analyzed. The start time, end time and intense of the rainfall were clearly showed through refractivity structure constant, horizontal wind and vertical wind derived from wind profiler radar data. The key issue and reference index are drawn out.

Keywords

Wind Profiling Radar, Horizontal Wind, Vertical Velocity, Atmosphere Refractivity Structure Constant

风廓线雷达资料在一次降水过程中的处理和应用

潘亮东¹, 邓孟珂², 陈超³

¹射阳县气象局, 江苏 盐城

²泰州市气象局, 江苏 泰州

³大丰区气象局, 江苏 盐城

Email: 375478595@qq.com

收稿日期: 2018年8月9日; 录用日期: 2018年8月23日; 发布日期: 2018年8月29日

摘要

雷达水平风廓线资料可以很直观地显示随时间变化风场的垂直结构。为了利用风廓线雷达进行降水研究,

分析了2010年7月南京风廓线雷达探测降水的个例。通过风廓线雷达提供的大气折射率结构常数、水平速度、垂直速度等多种资料,可从多种角度了解降水过程,清楚地反映降水的开始、结束以及降水的强度,得出了强降水预报的着眼点和定性指标。

关键词

风廓线雷达, 水平风场, 垂直速度, 大气折射率结构常数

Copyright © 2018 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. 风廓线雷达简介

风廓线雷达是利用大气湍流对电磁波的散射原理对大气三维风场进行连续性探测的设备。作为一种新型无球高空气象探测设备,风廓线雷达已成为当前常规气象探测体制的重要补充。它能够不间断地提供大气风场、垂直气流、大气温度、大气折射率结构常数等气象要素随高度的分布,具有时空分辨率高、连续性和实时性好的特点[1]。

国内外对风廓线雷达资料的处理和应用也开展了多项研究。阮征等[2]利用风廓线雷达对测站上空的降水云体进行探测,获取了降水回波强度垂直剖面结构及云中含水量等信息。张征宇等[3]分析了降水期间 C_n^2 随时间的变化趋势与降水的发生、发展和结束的相关性。许敏等[4]研究了低空急流指数的脉动与强降水间的关系。汪学渊等[5]对雨滴谱仪与风廓线雷达反射率进行了对比试验。侯武威等[6]基于软件无线电,运用中频数字化技术,提出了一种数字化接收机的设计方案。美国中部也建成了风廓线雷达网来弥补常规高空站网空间密度和时间密度上的不足。

2. 风廓线雷达在降水中的应用

风廓线雷达在测量降水过程中对降水的预报,降水过程的分析有一定的作用。我们可以对南京发生的一次强降水过程进行探讨来分析风廓线雷达探测资料在降水中的应用。

2.1. 天气背景分析

2010年7月12日南京地区发生剧烈降水,当时正值梅雨天气。图1是由自动气象站于2010年7月11日15点到7月13日6点测得的雨强随时间的变化图。

从图1可以看出从7月12日3时开始产生降水一直持续到7月13日3点。7月12日12:00时雨强最大,降水持续时间较长,后来降水逐渐减弱直至7月13日03:00降水停止。图2~图4为7月11日20时micaps 500 hpa, 700 hpa, 850 hpa高空图,在500 hpa高空图上,贝加尔湖东侧有一高压脊,形成了西北气流使冷空气向我国东南部发展,河套地区有一高压槽,588线在北纬30度附近,副高北抬到南京附近。从孟加拉湾到我国东南部盛行西南风,形成了西南向的水汽通道,为这次降水过程提供了充足的水汽。700 hpa高空图上秦岭到江苏西部有一条明显的切变线,切边线南侧有一低空急流,南京处在急流左前方,有明显的辐合,比较700 hpa前后的高空图发现该切变线向南发展到了安徽南部和江苏南部,同时700 hpa西南气流也很旺盛,850 hpa与700 hpa的高空情况相似。对比图6的风廓线雷达产品风矢图,发现20:00左右从1400 m高空往上都为西南风控制,与micaps的分析结果相同,水汽供应充足,产生了12日的大规模降雨过程。

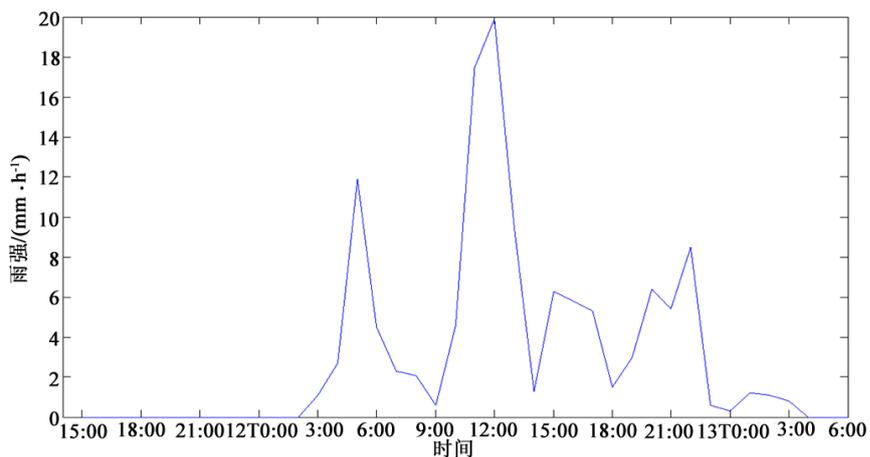


Figure 1. The precipitation rate from 15 LT, July 11st to 6 LT, July 13th

图 1. 7 月 11 日 15 点到 7 月 13 日 6 点的雨强图



Figure 2. Height field and wind field of 500 hpa at 20:00 on July 11 in 2010

图 2. 2010 年 7 月 11 日 20 点 500 hpa 高度天气图



Figure 3. Height field and wind field of 700 hpa at 20:00 on July 11 in 2010

图 3. 2010 年 7 月 11 日 20 点 700 hpa 高度天气图

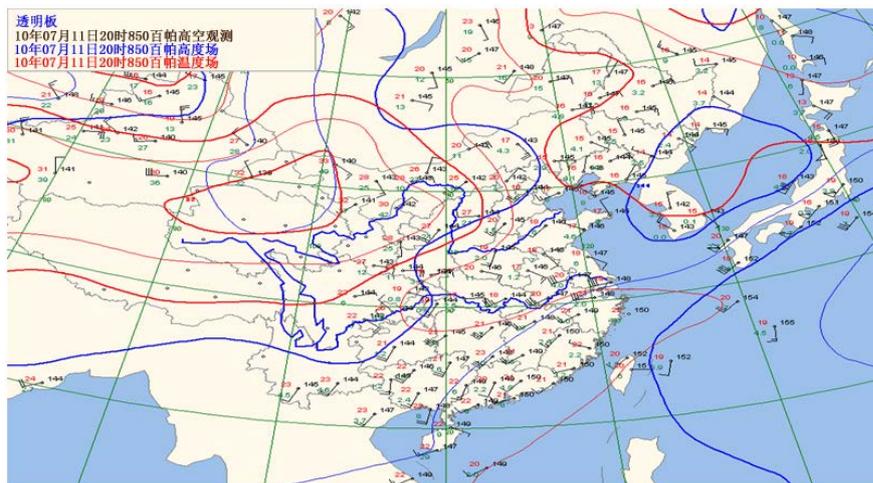


Figure 4. Height field and wind field of 850 hpa at 20:00 on July 11 in 2010
图 4. 2010 年 7 月 11 日 20 点 850 hpa 高度天气图

2.2. 风廓线雷达产品

我们采用 2010 年安装在南京信息工程大学观测场的风廓线雷达进行观测，雷达由天线、放大器、接收机、控制/数据处理器，电子设备保护装置以及无线电声探测系统(RASS) 6 大部分组成[7]。风廓线仪型号为 WP3000，最大探测高度为 6120 m，垂直空间分辨率 60 m，最低探测高度为 60 m，每 2 min 观测一次。风廓线雷达采用 5 波束观测，得到不同采样高度上水平风向，水平风速，垂直风速，垂直方向 C_n^2 等数据产品。高度分辨率为 60 m，以正北风为 0 度，垂直速度取向向下为正(即下落速度为正速度)。

2.3. 水平风分析

处理数据之后得到如图 5 所示的风矢图，图中箭头的长短表示风速的大小，箭头的方向表示风速的方向，横坐标是时间，纵坐标为高度。

7 月 11 日 15:00 近地面层风向为东北风，在 800~2000 m 处为东南和西南风，高层为西北风，同时存在多个切变，水平风速较小，高空风速比低空大。7 月 11 日 18:00 近地面转为东南风，东南风与西南风的风切变在 1600 m 处，西南风与西北风的切变在 3000 m 处。随着降水的不断临近，西南风与东南风的切变不断降低，西南风达到的高度与控制的范围也变大，水平风速增大，而且持续时间很长，这种风场为暴雨的产生提供了充足的水汽和能量，与 micaps 图相对应，说明风廓线雷达在探测不同高度风场上有很好的优势。并在降水前 6 h 于 1.8 km 高度处出现西风急流。降水开始之后，西南风与东南风的切变高度继续降低，水平风速继续增加。到了降水最大时候(12:00)低空突然出现东北风并与东南风产生切变，同时西南风与东南风的切变抬升回 1200 m 处，大气切变层数增多，说明强对流发展已达到最剧烈的程度，此时降水即趋于最强。最大降水过后，近地面东北风消失，高空逐渐为西北风控制，偏南气流控制的范围逐渐减少，水汽供应减少，水平风速也不断减小，对流开始减弱，降水逐渐减少。降水结束时，近地面转为东北风，800 m~2400 m 都为西北风控制，水平风速急剧减小。

从风矢图我们可以看出降水时期水平风速较不降水时变大，降水前 6 h 西风急流的建立，水平风速增大都对降水的来临有很好的预报作用。随着降水的来临，近地面的风切变高度不断降低，最大降水来临时低空出现低空急流并产生新的风切变，先前的风切变高度抬升。同时从图中我们可以看出偏南风控制大气层，有利于水汽的积累，容易产生降水。随着降水的结束，偏南风控制的高度范围，水平风速的大小，对流的发展都会减弱。同时发现强降雨维持的阶段：整层风向比较顺畅，而且风速持续很大。

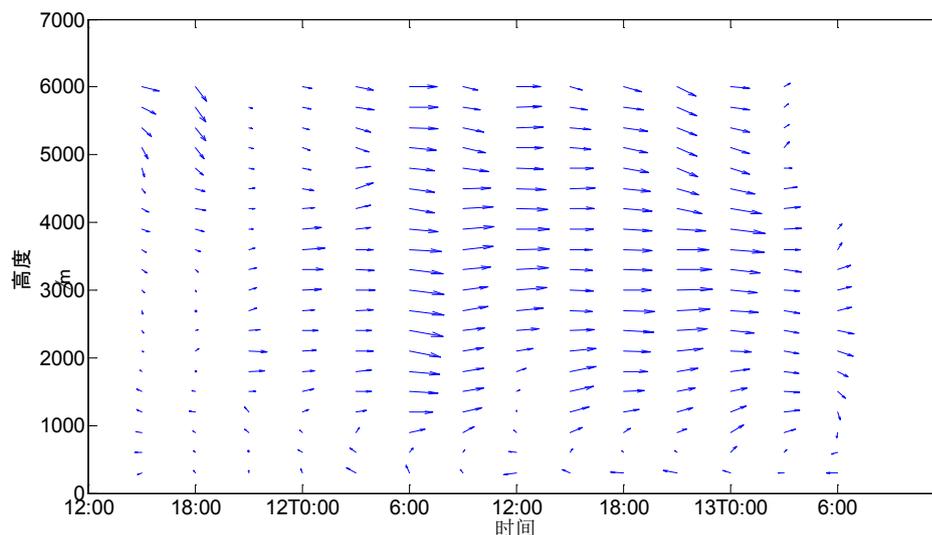


Figure 5. The Wind vector diagram from 15 LT, July 11st to 6 LT, July 13th
 图 5. 2010 年 7 月 11 日 15:00~7 月 13 日 6:00 风矢图

2.4. 风廓线雷达最大探测高度和 C_n^2 的研究

从图 6 可以看出 WP3000 风廓线雷达最大探测高度在 7 月 11 日 0:00 到 11 点由 4000 m 升至 6120 m, 降水前一段时间最大探测高度保持在 6120 m 对降水来临有很好的指示作用。而地面降水时间段在 12 日 03:00 到 13 日 03:00, 可以看到降水时间段最大探测高度也一直维持在 6120 m, 到了 13 日 04:00 之后最大探测高度又迅速下降, 可以看出风廓线雷达最大探测高度在降水时段和降水前明显增加, 最大探测高度要比平时高 2 km 左右。

大气环境因素是影响风廓线雷达最大探测高度的重要因素, 而大气环境因素的影响主要涉及大气折射率, 湍流强度, 结构, 温度, 湿度及其时空分布。降水时大气湿度增大, 雷达探测高度升高。表征大气折射率强弱起伏常用的指标是大气折射指数湍流结构函数, 这个函数用 C_n^2 表示。何平等[8]认为对于湍流散射, 雷达反射率和折射率结构常数 C_n^2 成正比, C_n^2 的大小主要取决于温度和水汽压脉动的大小。对于水汽压脉动则与水汽的绝对含量有关, 水汽含量越大, 在湍流的作用下才有条件产生较大的水汽压脉动。降水天气来临时, 大气高层的水汽含量增加, 使 C_n^2 加大, 从而导致探测高度增加。另外, 降水天气来临时, 高层出现冰晶等粒子。粒子大小、浓度达到一定程度时就会产生有效的粒子散射信号, 被雷达检测出来。这可能是天气系统来临时探测高度增高的另一个原因。

将 7 月 11 日 18:00 到 7 月 13 日 6:00 C_n^2 的数据用 matlab 编程得到图 7。

图 7 横坐标为时间, 纵坐标为高度, 图像中的数值为 C_n^2 的指数值(-14 表示 $1e-14$, -13.5 表示 $5e-14$) 从图中可以看出降水发生前 C_n^2 的强度很弱(黄绿色区域), 从 7 月 12 日 3 点到 7 月 13 日 3:00 C_n^2 的最大值大于 $5e-14$, 11:00~13:00 对应的 C_n^2 的最大值甚至达到 $5e-12$, 同时对比图 1 可以看出 C_n^2 的值大的时间段, 南京地区的降水量也较大。到了 13 日 4:00 C_n^2 最大值小于 $5e-14$, 降水结束, 可见 C_n^2 的值达到 $5e-14$ 反映了降水的开始和结束。 C_n^2 的值越大, 降水越剧烈。

2.5. 垂直速度研究

将风廓线雷达产品中的垂直速度进行读取并通过 matlab 编程得到降水前后的垂直风速图。

在降水情况下, 风廓线雷达探测到的垂直速度(未经落速订正)代表了空气的垂直运动和降水粒子的下沉运动的总和[9] [10]。从图 8 我们可以看出降水前垂直下落速度较小, 到了 7 月 12 日 3 点 3200 m 高空

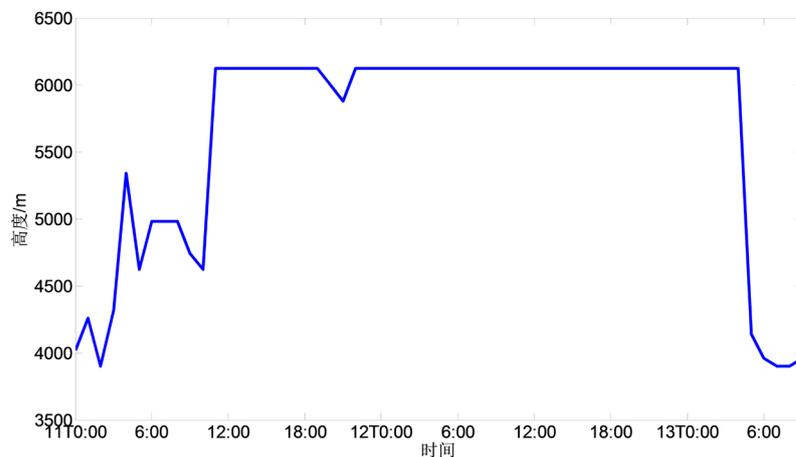


Figure 6. The Maximum detection height from 0 LT, July 11st to 13 LT, July 13th
图 6. 7月11日0点到7月13日10点最大探测高度图

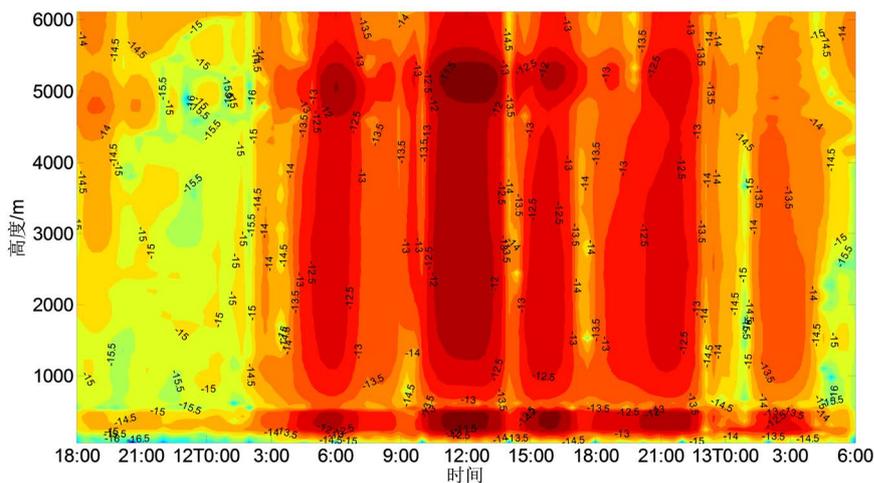


Figure 7. The Comparison of C_n^2 from 18 LT, July 11st to 6 LT, July 13th
图 7. 7月11日18:00-7月13日6:00 C_n^2 比较

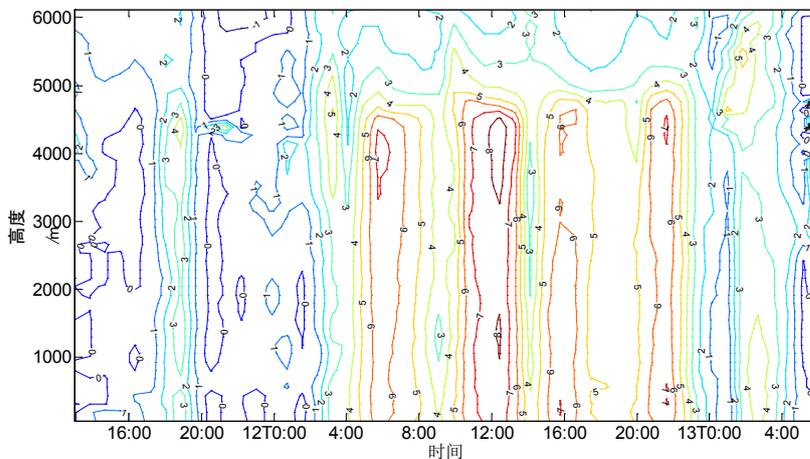


Figure 8. The vertical wind velocity from 12 LT, July 11st to 6 LT, July 13th
图 8. 7月11日12:00~7月13日6:00 垂直风速图

开始出现 4 m/s 的垂直速度，对比图 1 发现地面开始产生降水。在 12 点左右从地面到 4000 m 高空垂直速度都大于 7 m/s。到了 7 月 13 日 3 点最大垂直速度降到 4 m/s 以下。发现自 7 月 12 日 3:00 到 7 月 13 日 3:00 最大垂直下落速度都大于 4 m/s，与降水时间段对应，可以看出最大垂直下落速度大于 4 m/s 反映了降水的开始和结束。垂直下落速度越大降水越强，这种风廓线雷达探测到的垂直下落速度与降水强度的对应关系是由于降水时降水粒子的下落速度所造成的，它反映了降水粒子的密度。将 7 月 12 日 3:00 到 7 月 13 日 3:00 每小时内的最大垂直下落速度进行平均，再将得到的平均值和这个小时内的雨强进行对应做出图 9，从图 9 可以清晰的看出雨强越大，最大垂直下落速度就越大，同时也看出最大垂直下落速度随雨强增大的趋势随雨强增大而逐渐减小。同时从图 9 中可以清楚的看出最大垂直速度达到 4 m/s 开始出现降雨，最大垂直速度大于 6 m/s 的有强降雨现象。

将强降雨时间段 11:00 到 13:00 各高度处垂直速度做平均，得到各高度上的平均垂直速度，如图 10 所示，在 4500 m 以下垂直下落速度变化不大，都在 7.5 m/s 左右，在 4300 m 处达到 8 m/s，从 4500 m 到 5000 m 垂直速度急剧减少到 4 m/s，到了 5000 m 之后垂直速度又缓慢下降，风速不大，都在 4 m/s 以下。说明 4500 m~5000 m 之间空气间的热力动力差异较大，空气对流明显，容易产生大的降水。

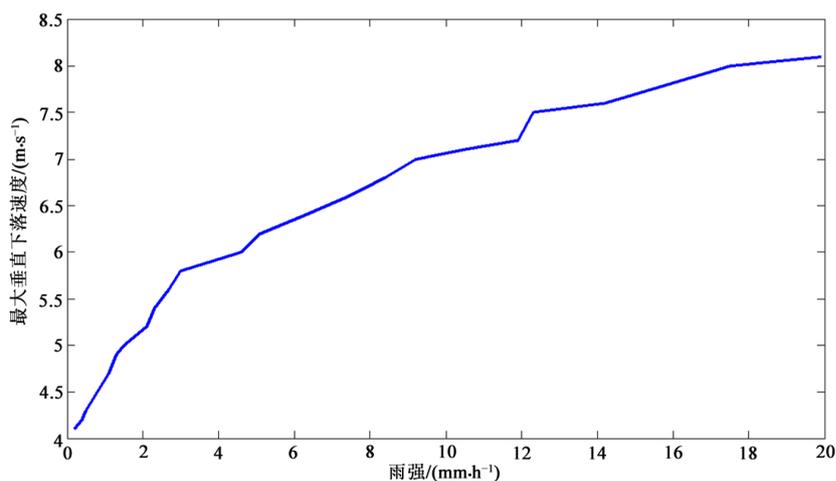


Figure 9. The relationship between precipitation rate and maximum terminal velocity
图 9. 雨强与最大垂直下落速度关系图

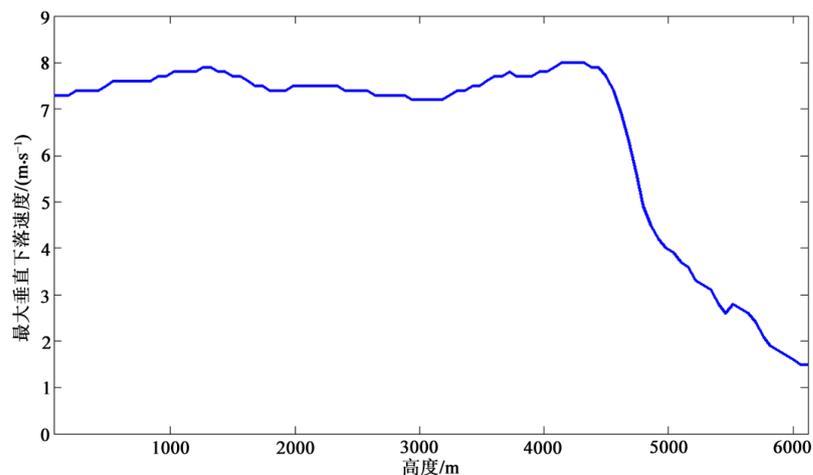


Figure 10. Average vertical velocity in each altitude from 11 LT, July 12th to 13 LT, July 12th
图 10. 7 月 12 日 11:00~13:00 各高度平均垂直速度图

3. 结论

风廓线雷达资料在降水预报中有很好的应用。利用风廓线雷达提供的多种垂直廓线探测资料, 可以从水平速度、垂直速度、速度谱、SNR、 C_n^2 等数据多种角度分析。通过这次对2010年7月12日南京强降水天气的研究, 利用水平速度做出风羽图, 对整个降水过程的发展有很好的指示作用。同时可以看出降水来临时, C_n^2 以及最大探测高度都会增加, C_n^2 最大值达到 $5e-14$ 反映了降水的开始和结束, 最大探测高度在降水来临前迅速增大并保持在最大探测高度。垂直下落速度达到4 m/s可以作为降水产生和消失的标志, 垂直下落速度大的时间段雨强也较强。但是需要说明一点, 降水过程很复杂, 这只是通过一次降水过程进行分析得到的结果, 需要更多的资料分析才能得出更准确的风廓线雷达资料与降水间的关系。

参考文献

- [1] 孙学金, 王晓蕾, 李浩, 等. 大气探测学[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 358.
- [2] 阮征, 葛润生, 吴志根. 风廓线仪探测降水云体结构方法的研究[J]. 应用气象学报, 2002, 13(3): 330-338.
- [3] 张征宇, 薛震刚, 高太长, 等. 风廓线雷达对一次强降水过程的探测研究[J]. 气象水文海洋仪器, 2016, 33(3): 21-31.
- [4] 许敏, 张瑜, 张绍恢. 风廓线雷达资料在冀中一次强降水天气预报中的应用[J]. 干旱气象, 2016, 34(5): 898-905.
- [5] 汪学渊, 阮征, 李效东, 等. 雨滴谱仪与风廓线雷达反射率对比试验[J]. 气象, 2016, 42(1): 107-114.
- [6] 侯武威, 袁安民, 赵颖辉, 等. 风廓线雷达中频数字接收机设计研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(20): 5035-5038.
- [7] 何越, 何平, 董德保, 等. 基于双高斯拟合的风廓线雷达在降水条件下的风场反演[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(23): 146-152.
- [8] 何平, 朱小燕, 阮征, 等. 风廓线雷达探测降水过程的初步研究[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 465-470.
- [9] 王令, 王国荣, 古月, 等. 风廓线雷达垂直径向速度应用初探[J]. 气象, 2014, 40(3): 290-296.
- [10] Foote, G.B. and Du, T.P.S. (1969) Terminal Velocity of Raindrops Aloft. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 8, 249-253. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008%3C0249:TVORA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008%3C0249:TVORA%3E2.0.CO;2)

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: crl@hanspub.org