

文章编号: 1673-8411(2019)03-0026-05

基于风廓线雷达资料的一次强降水天气过程分析

邹德龙, 梁晓京, 岑易峰, 李昌昊, 李娟

(民航广西空管分局, 南宁 530048)

摘要: 利用常规气象资料及风廓线雷达资料分析 2018 年 7 月 7 日南宁吴圩国际机场一次强降水天气过程特征。结果表明此次强降水受中低层切变线南压、西南季风槽北抬及地面冷空气渗透共同影响, 强降水发生前地面及空中风场变化特征明显。风廓线雷达资料中功率谱密度、垂直速度、最大探测高度与降水强度关系密切, 垂直速度及探测高度的变化对降水临近预报有一定指示意义, 低空风切变对本场航空器起落产生了重要影响。

关键词: 强降水; 风廓线; 雷达; 风切变

中图分类号: P457.9

文献标识码: A

Analysis of a Heavy Rainfall Weather Process Based on Wind Profiler Radar Data

Zou Delong, Liang Xiaojing, Cen Yifeng, Li Changhao, Li Juan

(Guangxi Sub-bureau of Middle South Regional Air Traffic Management
Bureau of Civil Aviation of China, Nanning Guangxi 430302)

Abstract: Using conventional meteorological data and wind profiler radar data, the characteristics of a heavy rainfall process at Nanning Wuxu International Airport on July 7, 2018 were analyzed. The results show that the heavy precipitation is affected by the southward moving of the shear line at the middle and lower layers, the northward uplift of the southwest monsoon trough and the surface cold air infiltration. The variation characteristics of the surface and air wind fields are obvious before the heavy precipitation occurs. The power spectral density, vertical velocity and maximum detection altitude of wind profiler radar data are closely related to precipitation intensity. The variations of vertical velocity and detection altitude have a certain guiding significance for precipitation proximity prediction. Low-altitude wind shear has an important impact on aircraft taking off and landing.

Keywords: heavy rainfall; wind profile; radar; wind shear

1 引言

风廓线雷达是利用晴空大气湍流对电磁波的散射作用对大气垂直风场进行探测的设备, 能够持续对单点进行多层次的风速风向探测, 已在对流天气探测预报中广泛应用。何平等^[1]探讨了风廓线雷达所提供的功率谱密度、SNR、水平速度、垂直速度等资料在降雨过程的变化; 陈红玉等^[2]分析了云南大理 2008-2012 年汛期地面强降水发生前风廓线雷达资料的极值特征; 刘淑媛

等^[3]利用风廓线雷达资料分析低空急流与降雨强度的关系。此外, 还有学者对风廓线雷达的数据质量控制、大气折射率结构常数、测风精度等方面进行了探讨^[4-6]; 也有使用风廓线雷达资料进行二次开发利用的应用成果^[7]。

本文利用常规气象自动观测系统资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料、714C 天气雷达以及风廓线雷达资料分析 2018 年 7 月 7 日南宁吴圩国际机场一次强降水天气过程, 为今后南宁机场强降水天气过程预报提供依据。

收稿日期: 2019-01-15

作者简介: 邹德龙 (1988-), 男, 山东荣成, 工程师, 主要研究方向: 航空气象预报。E-mail:yugoc@163.com

2 过程概况

南宁吴圩机场于 2018 年 7 月 7 日 15 时 56 分至 17 时 25 分 (北京时, 下同) 出现雷雨, 累计降水量 24.6mm; 其中集中降水时段为 16 时 06 分至 16 时 55 分, 期间累计降水 24.5mm, 1h 降水量达暴雨级别。本次天气过程造成 2 架航班备降其它机场, 2 架航班中止进近 (16 时左右, 高度 500~600m)。

3 天气形势分析

7 日 08 时 500hPa 广西受大陆高压环流底部东北偏东气流影响, 湘桂交界上空则以偏北分量更大的东北气流为主, 北部湾地区则以东南气流为主, 桂南及沿海地区存在辐合场。850hPa 湘桂交界上空受切变线控制, 桂南及沿海地区处于季风槽前暖湿输送带中。地面对应低层切变线位置为锋面, 北部湾区域受低压环流影响; 研究表明^[8-9], 北部湾海面低压环流配合低空西南风的天气形势, 有利于在广西南部产生降水。7 日, 低层

切变线在 500hPa 东北气流引导下逐渐南压, 与此同时, 受北部湾低压扩张以及西南季风影响, 桂南及沿海地区出现对流系统并且逐渐北抬。

4 水汽、动力条件分析

4.1 水汽条件分析

如图 1 所示, 以南宁机场所在格点位置 (108°E , 23°N) 分别做水汽通量的时间-高度剖面图 1(a)、相对湿度的时间-高度剖面图 1(b)、水汽通量散度的时间-高度剖面图 1(c)、7 日 14 时沿 108°E 水汽通量散度的纬度-高度剖面图 1(d)。由图 1(a) 和图 1(b) 可知, 6 日~7 日南宁地区低层 (950hPa 至 800hPa) 存在一条较强的水汽输送通道, 水汽通量大值中心位于 900hPa 高度, 数值达 $16 \times 10^{-3} \text{g}(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$, 南宁机场中低层相对湿度维持在 80% 以上, 特别是在强对流天气发生的时段 (7 日中午), 相对湿度达到了 90% 以上, 湿层厚度延伸到了 500hPa 高度。

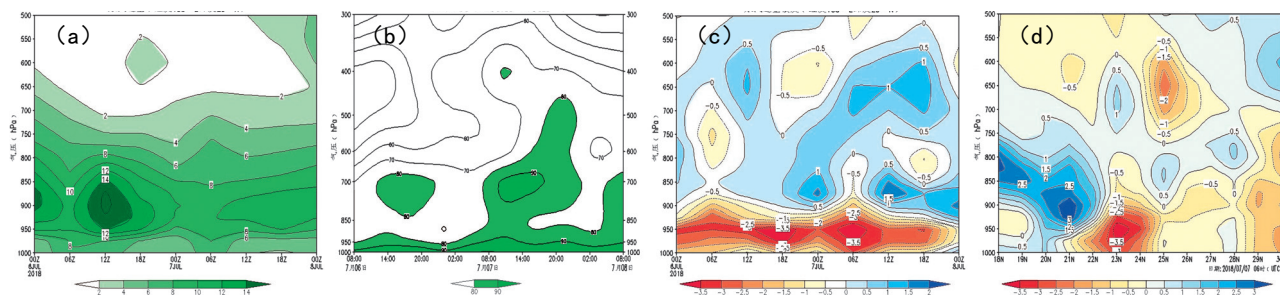


图 1 (a) 108°E , 23°N 的水汽通量时间-高度剖面图 (单位: $10^{-3} \text{g} \cdot (\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$), (b) 108°E , 23°N 的相对湿度时间-高度剖面图 (单位: %), (c) 108°E , 23°N 的水汽通量散度时间-高度剖面图和 (d) 沿 108°E 水汽通量散度纬度-高度剖面图

由图 1(c) 可知, 6 日~7 日南宁上空的低层和近地层维持较强的水汽辐合, 强辐合时段分别为 6 日 12~20 时和 7 日 12~18 时, 中心强度超过 $-3.5 \times 10^{-5} \text{g}(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$, 结合图 1(d) 分析, 7 日 14 时在 108°E , 22°N 与 108°E , 24°N 区域间 (即南宁机场北部) 中低层水汽辐合最强, 中心强度超过 $-3.5 \times 10^{-7} \text{g}(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})^{-1}$, 与逐渐南压的低层切变线所在的位置有着良好的对应关系。表明 7 日 14 时前后, 南宁地区低层较强且持续的水汽输送与较强的水汽辐合, 为对流的发生发展提供了有利的条件。

4.2 动力条件分析

图 2 为 7 日 14 时沿 108°E 风场叠加涡度的纬度-高度剖面图。切变线位于 26°N ~ 27°N 之间, 高度位于 850hPa 至 700hPa 之间, 700hPa 以上为一致的东北偏东气流, 900hPa 至 700hPa, 27°N 以北为东南风场, 27°N 以南为西南风场, 中层存

在着明显的南北气流切变幅合区, 随时间推移, 切变线逐渐南压。从涡度场分析, 27°N 以北涡度以负值为主, 因此南宁地区北部空中受干冷下沉气

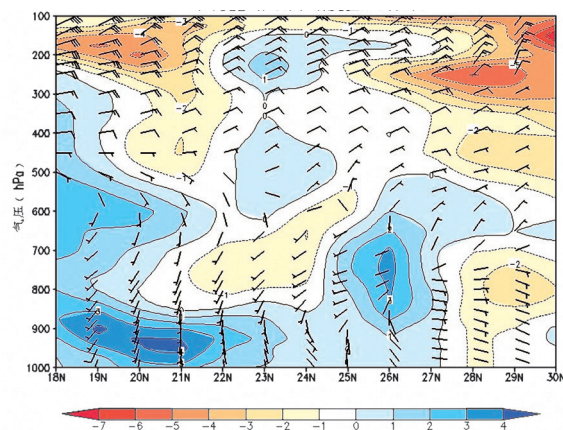


图 2 7 日 14 时沿 108°E 风场 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 叠加涡度 (单位: s^{-1}) 纬度-高度剖面图

下沉气流控制。在 18°N – 21°N ，由于受北部湾低压环流控制，中低层（500hPa以下）以正涡度为主，配合风场可知，向内陆地区有正涡度平流存在。在 23°N – 27°N ，850hPa至700hPa之间为正涡度

大值区，数值超过 $3\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ ，中层辐合切变则极易导致大气层结不稳定性的加强，由下文可知，配合地面弱冷空气的南下渗透最终导致了大面积对流天气的发生。

5 实况资料分析

5.1 714C 天气雷达资料

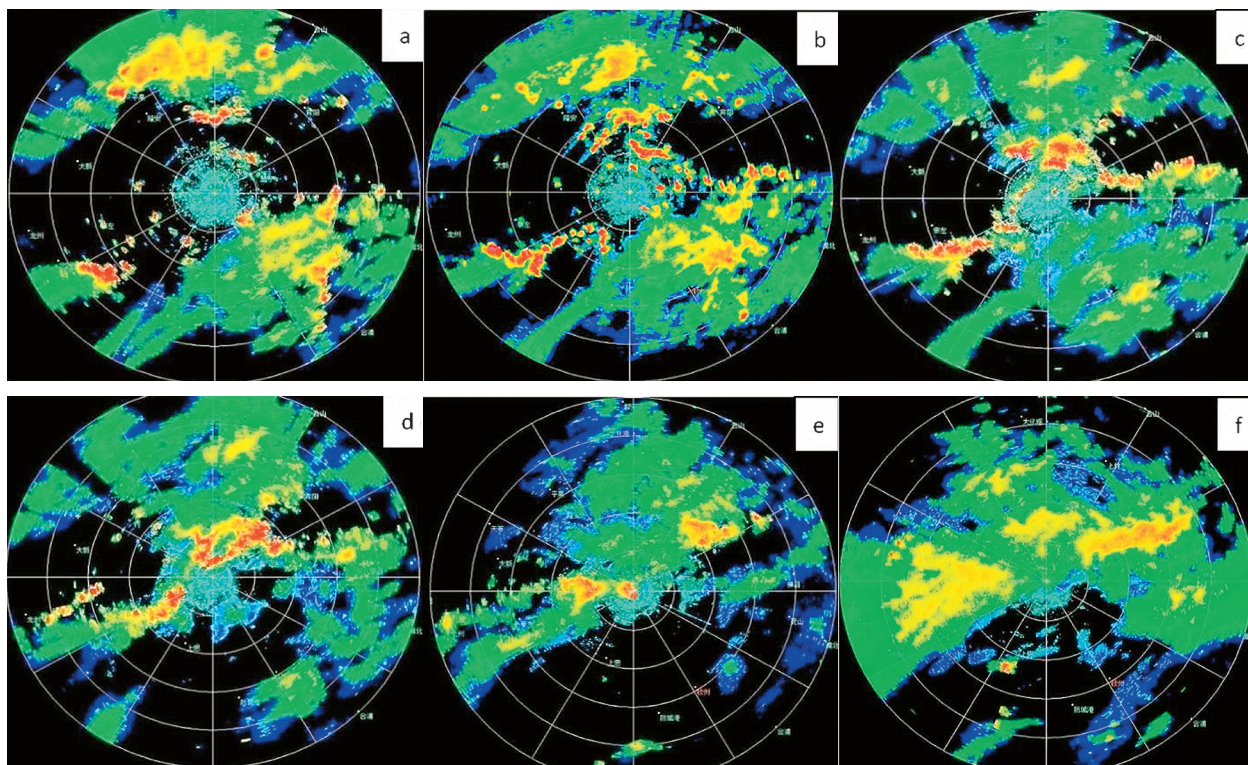


图3 a-f 南宁机场天气雷达7日13时30分、14时00分、14时30分、15时00分、16时00分、18时00分的基本反射率

图3a-f 分别是南宁机场天气雷达7日13时30分、14时00分、14时30分、15时00分、16时00分、18时00分的基本反射率图（扫描半径为150km，仰角 2.0° ）。从13时30分雷达图可以看到，在本场的北部和南部均有大片的降水云团，分别对应桂中地区的切变线降水和桂南地区的季风槽降水。对比13时30分和14时回波所处位置可知，本场40km范围内的对流云团以北抬为主，属于季风槽降水。随着北侧切变线逐渐南压，新的对流云团在弱冷空气触发下不断生成，且强度有所加强。14时30分至15时，北抬与南压的对流云团在本场北部30km附近汇合，形成东北—西南走向的带状回波，强度达到此次对流过程的顶峰，南侧季风槽降水云团趋于消散。15时后，对流云团整体南压，16时前后到达南宁机场，强回波区域覆盖南宁机场，本场开始出现雷雨天气。强降水后对流回波强度迅速减弱，如18时雷达图

所示，本场以弱降水为主，后续降水逐渐停止，天气过程结束。

5.2 风廓线雷达及自动观测资料

5.2.1 水平风速风向

为了解降水前大气环境风场特征，分析南宁机场风廓线雷达探测得出的水平风速风向随时间高度分布，从7日12时至15时风廓线雷达探测显示（图4），1000m以下主导风向为东南偏南风，风速 $4\text{--}6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，1000m至4000m主导风向转为西南偏西，风速 $2\text{--}4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，对流层中下层存在明显的风向顺时针偏转，低层为暖平流。查询风廓线雷达原始数据可知，7日14时后，6500m以上主导风向为东北偏东风，风速 $3\text{--}6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，中层至上层为风向逆时针偏转，中上层为冷平流。因此，在降水发生前，冷平流叠加于暖平流之上，南宁机场大气静力稳定度趋于减小，大气层结处于不稳

定状态, 为后续的降水提供了有利的对流条件。

7 日 15 时 30 分, 切变线以及地面弱冷空气前沿到达本场, 风向突转为偏北风, 风速也在冷空气前沿到达后的 20min 内达到最大 ($5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。显示风廓线雷达测得的大气低层风向与本场地面风向变化情况有良好的对应关系。这一变化较降水提前了约半小时, 对降水预报有一定的指示意义。

此外, 在降水的主要时段 (即 15 时 56 分至 17 时 30 分) 南宁机场 1500m 以上的风场变化特征也值得关注。从 15 时 48 分至 16 时 12 分, 2500m 至 3500m 为东北风 (图略), 1000m 至 2500m 为西南或偏南风, 2500m 高度附近存在明显的风向切变。同时, 1000m 高度附近也存在明显的风向变化, 1000m 以下为东北风, 1000m 以上为西南风。这可能是由于在雷雨云团逼近本场时, 雷暴高压导致的冷空气外流及雷暴云内部对流结构所引起的。

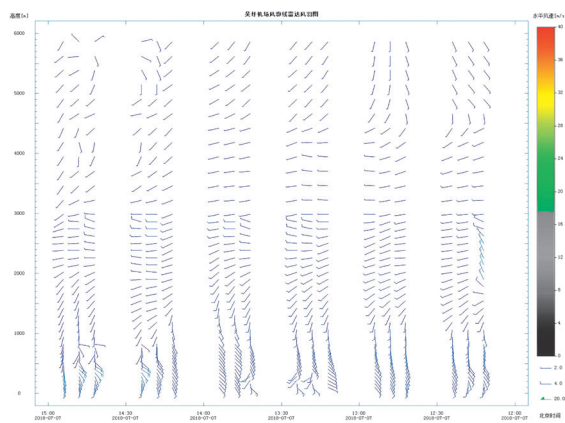


图 4 7 日 12 时至 15 时南宁机场风廓线雷达水平风速风向随时间高度分布图

5.2.2 功率谱密度

通过采用基于快速傅里叶变换的信号处理方式, 风廓线雷达可获取功率谱密度数据, 再经过相关算法得到速度、速度谱宽和回波功率等信息。通常情况下, 晴空时单纯由湍流散射引起的功率谱密度函数为“单峰谱”, 而在降水天气条件下, 同时存在湍流散射和粒子散射, 功率谱密度函数一般为“双峰谱”。分析 7 日 16 时 06 分至 16 时 12 分降水期间五向波束的功率谱密度随高度 (图略) 显示, 风廓线雷达接收后向反射回波功率 1000m 以上为单峰谱, 1000m 以下为双峰谱。双峰分别对应约 $9.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的向下速度, 这分别为水滴的下落速度和大气环境背景场的下沉气流速度。而 $9.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的向下速度也可以反映出此次降水过程的强对流性质, 小时水量达到了暴雨量级^[10]。

5.2.3 垂直速度

分析半小时平均垂直速度随时间高度分布,

其中正值代表朝向雷达, 方向向下, 负值代表远离雷达, 方向向上 (图略)。显示 7 日 15 时之前 5000m 以下大气均为弱的上升气流, 15 时至 15 时 48 分, 受低层切变线南压影响, 2500m 以上开始出现弱的下沉气流, 2500m 以下仍为上升气流, 在此时段内上升气流与下沉气流并存。15 时 54 分开始, 南宁机场上空均为下沉气流, 大值区位于 3000m 至 5000m 之间, 平均风速 $3.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。16 时 12 分至 16 时 42 分, 下沉气流的风速值开始迅速增大, 且大值区 (风速 $8.0\text{--}9.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 出现明显的下移, 表明上下层空气开始出现翻转, 对流旺盛。16 时 42 分后, 降水强度逐渐减弱, 垂直速度随之减小, 但整层大气仍受下沉气流控制。20 时 12 分, 降水过程结束。

将 7 日降水时段和非降水时段的各高度层垂直速度进行平均运算, 得到两类情况下垂直速度随高度的分布图 (图 5), 显示 5000m 以下的降水时段垂直速度比非降水时段的垂直速度大一个量级, 前者绝对值在 $4.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 后者则小于 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。5000m 以上降水时段的垂直速度随高度上升显著降低, 由之前的分析可知, 降水时段的垂直速度均为正值, 因此垂直速度的降低表明随高度的增加对流云体内云滴 (水滴) 含量迅速降低, 从而导致降水的拖曳力和自身的重力作用逐渐减小。与此相反, 非降水时段的垂直速度随高度上升略有增加, 这可能是因为降水前后大气中低层存在的上升运动抵消了一部分下沉运动的影响, 在大气中高层向上的对流十分微弱, 且冷平流的存在使得下沉运动处于主导地位。因此, 随着高度的增加降水时段垂直速度与非降水时段的垂直速度逐渐趋于一致, 垂直速度的大小与降水强度存在密切联系, 同时也可以反映出降水粒子的密度^[11]。

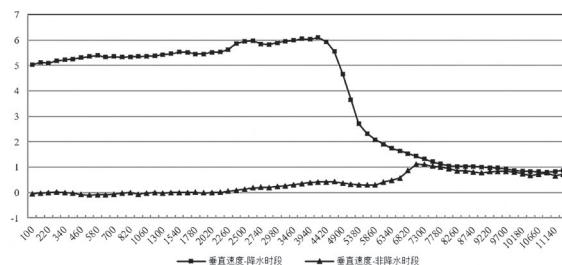


图 5 降水与非降水时段风廓线雷达各层垂直速度平均值图

5.2.4 最大探测高度

风廓线雷达的最大探测高度是指在一定检测概率前提下的最远观测距离, 在不同天气条件下, 水平风和垂直风的空间分布不均匀会对风廓线雷达的探测产生影响。当有天气系统过境、高空水汽增加时, 常伴有探测高度增加的现象^[1-2]。降

水天气来临时,大气中水汽含量及云滴粒子尺度及浓度明显增大,相应产生的水气压脉动也随之增强,大气折射率结构常数与水气压脉动的强度呈正相关,而折射率结构常数的增加是导致风廓线雷达探测高度增加的主要原因。分析7日风廓线雷达最大探测高度时间序列(图略),表明本场出现降水的时间为15时56分,较冷空气达到时间有半小时左右的滞后。在16时07分至16时36分累计降水量达23.1mm,强降水时段集中在30min内,随后雨强迅速减弱,与前文中雷达回波的强度变化有良好的对应关系。此外,降水发生前最大探测高度呈现出波动上升的趋势,探测高度均值为8714m,降水前两小时(13时48分至15时48分)基本稳定在10000m以上。降水开始后最大探测高度达到风廓线雷达探测极值11380m,并持续至19时12分,随后降水强度迅速减弱,探测高度较强降水阶段有所下降,降水时段的探测高度均值为11214m,较降水发生前增加2500m。20时12分后,最大探测高度随时间呈现出显著的下降趋势,20时18分至23时54分的探测高度均值为7742m,较降水发生前及降水时段明显偏低。因此,风廓线雷达最大探测高度的变化可以反映出降水的起止和强度变化情况,降水前探测高度的上升对于降水临近预报有一定的指示意义。

6 结论与讨论

(1) 中低层切变线南压、西南季风槽北抬及地面弱冷空气渗透是此次对流天气的成因;

(2) 风廓线雷达能够探测出本次降水发生前空中冷暖平流变化而导致的大气层结不稳定;

(3) 风廓线雷达测到地面风向转变,对降水预报有一定的指示意义;垂直速度大小与降水强度有良好的对应关系,最大探测高度的变化可反映出降水的起止和强度变化情况;

(4) 雷暴高压导致的冷空气外流及雷暴云内部对流结构所引起的垂直方向上的风切变对航空器起落产生了重要影响;

(5) 大气垂直速度的变化与云微物理的变化密切相关,希望日后能对此进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 陈红玉,高月忠,尹丽云,等.强降水过程风廓线雷达资料的极值特征[J].气象科技,2016,44(1):87-94.
- [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[J].热带气象学报,2003,19(3):285-290.
- [4] 刘瑞婷,阮征,魏鸣,等.风的空间不均匀分布对风廓线雷达数据质量影响研究[J].热带气象学报,2016,32(2):229-236.
- [5] 阮征,何平,葛润生.风廓线雷达对大气折射率结构常数的探测研究[J].大气科学,2008,32(1):133-140.
- [6] 邓闯,阮征,魏鸣,等.风廓线雷达测风精度评估[J].应用气象学报,2012,23(5):523-533.
- [7] 杨波,魏东.二次开发风廓线探测资料及其在天气预报中的应用[J].气象科技,2010,38(4):413-417.
- [8] 陈秋吉,梁宝荣,尹海燕.北海夏季一次强对流天气过程分析[J].安徽农业科学,2011,39(16):9892-9895.
- [9] 王远超,黎玲.北部湾热带风暴的气候特征及生成形势[J].气象研究与应用,2007,28(S2):38-39.
- [10] 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.
- [11] 章国材,矫梅燕,李延香,等.现代天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社,2007:78.