

文章编号:2096 - 5389(2022)06 - 0029 - 05

威宁边界层风廓线雷达与探空系统 的风向风速一致性初探

杨 哲^{1,2}, 李 源³, 张玉逵⁴, 陈银东⁴

(1. 贵州省大气探测技术与保障中心, 贵州 贵阳 550081; 2. 贵州省人工影响天气办公室, 贵州 贵阳 550081;
3. 贵州省气象服务中心, 贵州 贵阳 550002; 4. 贵州省威宁彝族回族苗族自治县气象局, 贵州 威宁 553100)

摘 要:利用 2019 年 6—12 月威宁县边界层风廓线雷达数据和威宁探空数据, 预设二者风速偏差 $\leq 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、风向偏差 $\leq 20^\circ$ 为有效数据样本, 对两者在不同风速、风向范围和不同高度、时次、降水条件下风向、风速数据进行对比及相关性分析。结果表明: ①风廓线雷达和探空的风速、风向均具有较好的正向相关性; ②在不同高度下, 无论有无降水或任意时次, 风速有效样本比率大体上高于风向有效样本比率, 500 m 左右高度以下有效样本比率总是最小 ($< 50\%$), 而中高层较大; ③不同时次对风速、风向数据有效性影响不大; ④有降水时风速、风向有效样本比率比无降水时偏小且变化剧烈; ⑤除东北 ($20^\circ \sim 40^\circ$) 和西南 ($200^\circ \sim 260^\circ$) 风向外, 其他方位风向数据一致性较差; ⑥除 $> 24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速外其他大小风速均具有较好的一致性。

关键词:风廓线雷达; 探空; 风速; 风向; 相关性; 有效样本

中图分类号:P412.25 **文献标识码:**A

Preliminary Study on the Consistency of Wind Direction and Wind Speed between Weining Boundary Layer Wind Profile Radar and L - Band Altitude Detection Radar

YANG Zhe^{1,2}, LI Yuan³, ZHANG Yukui⁴, CHEN Yindong⁴

(1. Guizhou Provincial Center for Atmospheric Detection Technology and Support, Guiyang 550081, China;
2. Guizhou Weather Modification Office, Guiyang 550081, China; 3. Guizhou Meteorological Service Center,
Guiyang 550002, China; 4. Weining Meteorological Bureau of Guizhou Province, Weining 553100, China)

Abstract: Using the boundary layer wind profiler radar data and the high altitude detection system wind field data from June to December 2019 in Weining County, the valid data samples are pre - set with the wind speed deviation $\leq 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and the wind direction deviation ≤ 20 degrees. The comparison and correlation analysis of the wind direction and wind speed data under different wind speed, wind direction range and different height, time, precipitation conditions are studied. The results show that: ① Wind profiling radar and altitude detection system have good positive correlation in wind speed and direction; ② At different heights, the ratio of effective samples of wind speed is higher than that of effective samples of wind direction, with or without precipitation or at any time. The ratio of effective samples below 500 meters is always the smallest (less than 50%) and the middle and upper levels are larger. ③ Different times have little effect on the validity of wind speed and direction data; ④ The effective sample ratio of wind speed and direction with precipitation is smaller and more variable than that without

收稿日期:2022 - 01 - 11

第一作者简介:杨哲(1988—),男,硕士,工程师,主要从事雷达信号处理和综合气象探测技术研究工作, E - mail:592208553@qq.com。

资助项目:贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2020]11 - 06 号):风廓线雷达在降水天气监测中的应用;国家自然科学基金(4187050298):雹胚形成及演变的微物理环境与热动力特征的观测研究;贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2019]2387 号):雹胚形成演变微物理环境条件观测与模拟试验研究。

precipitation; ⑤ The consistency of wind direction data in other directions is poor except for the northeast (20 ~ 40 degrees) and southwest (200 ~ 260 degrees). ⑥ All the wind speeds except those larger than $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ have good consistency.

Key words: wind profile radar; altitude detection; wind speed; wind direction; correlation; valid samples

0 引言

风廓线雷达自 20 世纪 70 年代末诞生以来,在很多国家的气象服务行业得到广泛应用,美国、日本、英国、德国等发达国家已经建成风廓线雷达网。我国于 1989 年研制出自己的风廓线探测系统,经过多年发展,已成功研制了平流层、对流层和边界层等多种探测高度的风廓线雷达。2019 年贵州省气象部门在毕节威宁和安顺普定分别布设了 2 部边界层风廓线雷达。该雷达对晴空湍流、辐合辐散、急流区、切变线等天气系统有较快较好的辨别力,可为降水过程尤其是强对流天气的探测识别、预测预警提供重要参考。为确保该雷达数据可有效应用于贵州的气象预报预警和天气系统分析,本文对其在贵州复杂山地气候环境中探测数据的可靠性预先进行验证分析。目前国内外专家在风廓线探测数据的分析质控和应用等方面取得了一定成果,周志敏等^[1]利用加密探空资料对威宁市黑山观测站的风廓线数据进行了初步验证,发现其可靠性较好。王欣等^[2]对风廓线资料与同步探空资料进行对比,分析了风廓线资料的可信度。万蓉等^[3]设定风廓线雷达和加密探空资料风速差 $< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或风向差 $< 20^\circ$ 为有效样本,并从降水情况、速度、高度条件的影响下进行分析研究。张寅等^[4]利用探空数据、ERA 再分析资料 and 同期风廓线雷达数据进行对比分析,表明该雷达在平均态过程中与探空和再分析资料基本一致。黄金权等^[5]利用风廓线雷达产品对强对流天气过程进行应用分析。WEBER 等^[6]国外学者对比分析了风廓线雷达与常规探空的风场资料,结果显示:二者水平风速的 u 、 v 分量标准差为 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。贵州省威宁县气象局观测站内同时布设有风廓线雷达和探空系统,并已具有较长时间的观测资料,为 2 种设备的数据对比分析^[7]提供了一定基础。

1 资料选取及处理

CFL-03 型边界层风廓线雷达和 L 波段探空雷达均位于贵州威宁县气象局内,两者海拔高度相差 2 m 左右,水平距离 50 m 左右。由于受边界层风廓

线雷达性能和本地天气特征影响^[8],其可靠探测范围是以雷达为中心,平面半径约 3 km、垂直高度 3.5 km 以下的空间。探空气球随风场扰动运动,探空气球从地面释放至 3.5 km 高度处,距离本站的水平距离存在 3 ~ 20 km 的偏差,剔除偏差 $> 15 \text{ km}$ 的数据,可近似认为 2 部设备探测空间一致性满足要求。

探空气球释放具体时间为 07 时 15 分左右和 19 时 15 分左右,上升至 3.5 km 处需约 9 min,故在 0 ~ 3.5 km 对比空间内探空气球探测时间为 07 时 15—24 分和 19 时 15—24 分。风廓线雷达每 6 min 出 1 组数据,选取 07 时 24 分和 19 时 24 分出的数据可使两者时间偏差最小,可视为满足时间一致性要求。

本研究使用的风廓线雷达产品为实时风场数据,该数据已指定各高度层风场信息。探空雷达则使用基础探空数据,该数据每秒钟回传 1 组风速、风向、气压等气象要素信息,其高度区间是连续性的,故需要提取探空指定高度风速风向使其与风廓线雷达高度层一致。

2 数据分析对比

2.1 相关性分析

2.1.1 总体相关性分析 选取 2019 年 6—12 月威宁探空雷达的风向、风速数据和相应时间的风廓线雷达数据,分别计算 6 个月的风廓线雷达各高度的风速、风向平均值和探空对应高度的风速、风向平均值,并绘图 2 部设备的风速、风向平均值随高度变化曲线及其风速、风向差值曲线(图 1)。

对风廓线雷达和探空风向、风速平均值进行相关性分析,并利用统计学方法计算两者平均值差值的统计特性值,具体结果如表 1。

表 1 风廓线雷达和探空风向、风速平均值的统计特征
Tab.1 Statistical characteristics of wind profile radar and sounding wind direction and wind speed average

统计方法	风速	风向
相关系数	0.65	0.98
平均差值	3.93	9.7
均方差	2.42	6.68

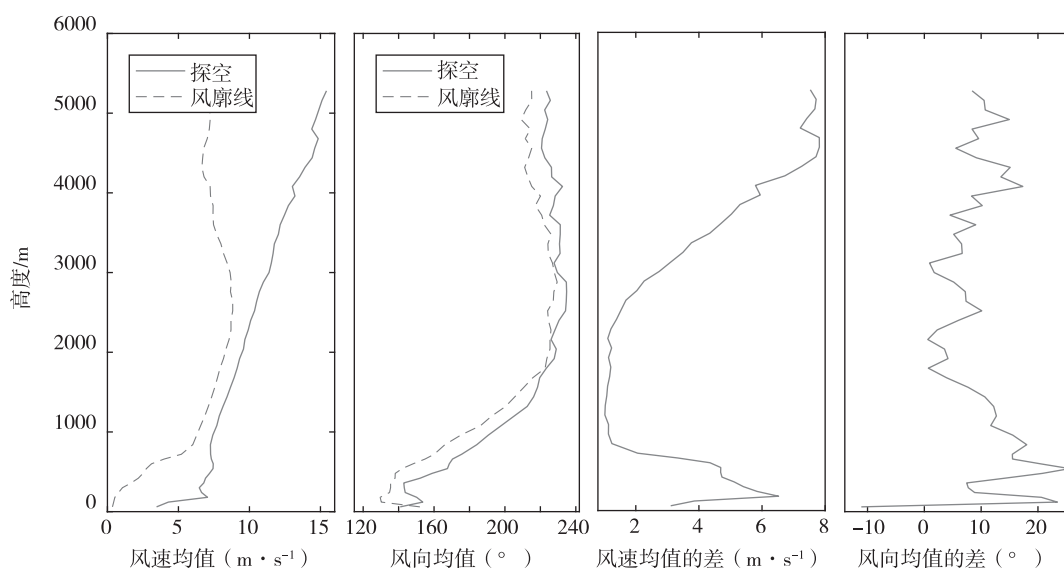


图1 2019年6—12月风廓线雷达和探空风向、风速平均值及其差值随高度变化曲线

Fig. 1 Variation curve of wind profile radar and sounding wind direction, average wind speed and their difference with height from June to December 2019

根据图1和表1,风廓线雷达与探空的风向、风速平均值均具有一定正相关性,其中二者风向均值为高度相关,风速均值为中度相关。风速平均值的差值在高度为1000 m左右以下和3000 m左右高度以上均较大($>4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),1000~3000 m高度差值较小($<2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。风向平均值的差值在1000 m左右高度以下变化较大,最大约 26° ,1000 m以上差值趋于稳定总体在 10° 左右。

2.1.2 各次相关性统计 共收集整理风廓线和探

空风速、风向数据序列(经规划化处理的单次探测数据文件)共4组总数为1596个,其中每个数据序列分别有399个,每个序列对应1次风速或风向随高度变化的实际探测数据。由于受探测环境和气象条件等因素影响,风廓线雷达和探空系统探测风场时在某些高度层不可避免会出现空值,经筛选统计,所选数据序列约10~40个左右数据值。将探空和风廓线雷达的风向、风速序列数据分别进行相关性分析,结果如图2所示。

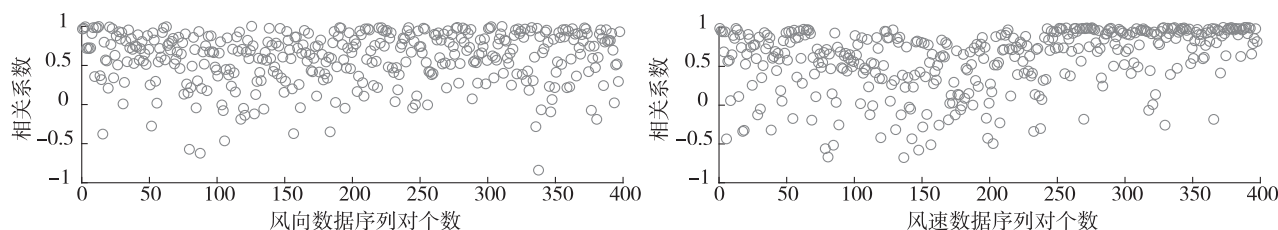


图2 风廓线雷达和探空系统风向、风速相关系数统计

Fig. 2 Statistics of wind direction and wind speed correlation coefficient of wind profile radar and sounding system

统计结果显示,满足显著性水平低于0.05的风速、风向个数分别为333、323,其中满足高度相关(相关系数 ≥ 0.8)的风速风向数据量分别为165、135,占比分别为49.6%、41.8%。满足中度相关(相关系数 ≥ 0.5)的风速风向数据量分别为278、275,占比分别为83.5%、85.1%。表明风廓线雷达和探空的风速风向数据具有较好的正相关性。

2.2 数据有效性分析

根据夏文梅等^[9]研究结果,可以设定风廓线雷达与探空风速绝对差值在 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以内,风向绝对差值在 20° 以内为有效样本。对风速、风向有效样

本比率随高度变化进行统计并绘图,见图3。

统计得出风速有效样本占总样本比例为79.17%,风向有效样本占总样本比例为64.64%。当风向和风速的有效样本比 $>60\%$ 时,风廓线和探空资料就能达到相对较好的一致性,比率越大,一致性越好。根据图3可以看出,风速、风向有效样本比率在700 m以上高度主要维持在80%左右,表明除近地面外,风廓线雷达和探空风场数据总体一致性较好;在高度700 m左右以下由于地物干扰的存在,风速、风向有效样本比率较低;高度在1500~5000 m范围内有效样本比率变化幅度较小,表明该

高度区间内风速、风向总体较其他高度更可靠;风速有效样本比率变化较风向的比率更均匀稳定。

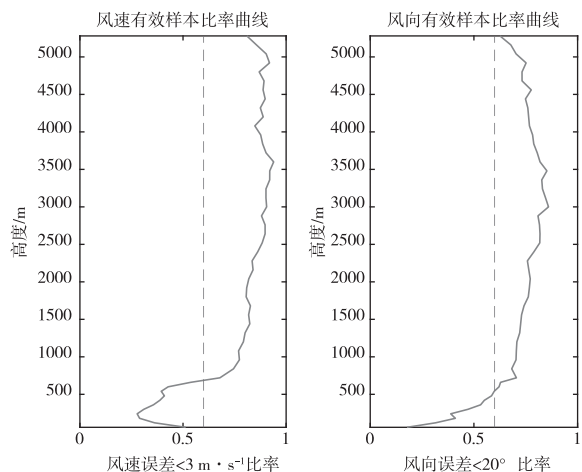


图 3 风向、风速有效样本比率随高度变化曲线(红虚线为 0.6)

Fig. 3 Variation curve of effective sample ratio of wind direction and wind speed with height (the red dotted line is 0.6)

2.2.1 不同时段对比 采用 08 时、20 时风廓线雷达和探空风场数据,统计出 08 时风向平均有效样本比率 64.36%,风速平均有效样本比率 78.01%;20 时风向平均有效样本比率 65.73%,风速平均有效样本比率 73.56%。

如图 4 所示,在设定标准下根据统计结果,风速随高度变化的有效样本比率明显高于风向有效样本比率。08 时和 20 时的风向平均有效样本比率均略低于风速样本比率,且风速风向有效样本比率随高度变化趋势相似。在 2 个时刻下 500 m 左右高度以下风速风向有效样本比率均大幅低于其他高度比率。表明风廓线雷达与探空系统的风速风向有效比率几乎不受 08 时和 20 时 2 个不同时刻的影响。

2.2.2 不同降水情况对比 通过筛选分类出有降水 and 无降水的风廓线雷达和探空风场数据,然后分别计算出 2 种天气情况下风速风向有效样本在不同高度上的比率(图 5)。有降水风速、风向平均有效样本比率分别为 60.36%、55.49%,无降水风速、风向平均有效样本比率分别为 80.12%、67.53%。

如图 5 所示,在有降水时,风廓线雷达与探空系统的风速、风向有效样本比率随高度变化的值均比无降水时较小一些,而且有降水时有效样本比率的变化幅度也相对较大;风向有效样本比率在有降水和无降水 2 种情况下均比风速有效样本比率较低。无论有无降水,风速风向有效样本比率在 500 m 左右高度以下均较低;有降水时的风速风向有效样本

比率在 4000 m 以上高度也会变小。

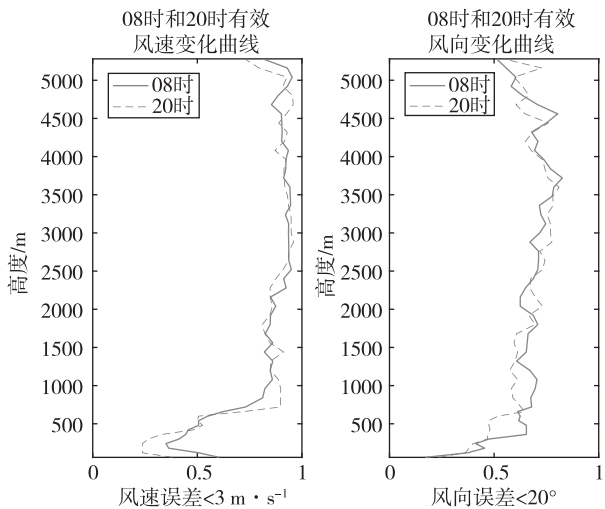


图 4 北京时间 08 时、20 时风速、风向有效样本比率随高度变化

Fig. 4 The effective sample ratio of wind speed and wind direction changes with height at 08:00 and 20:00 Beijing time

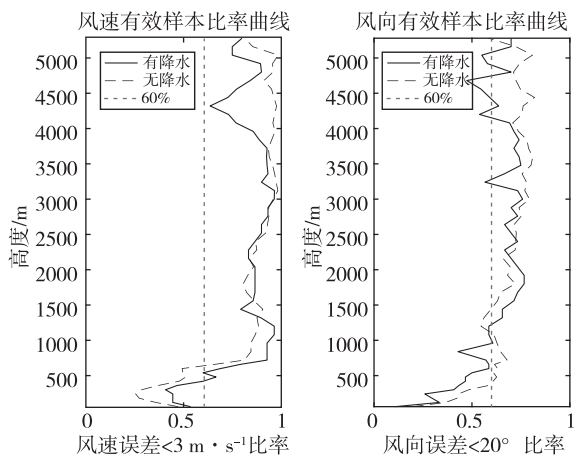


图 5 有降水和无降水风速、风向有效样本比率随高度变化
Fig. 5 The effective sample ratio of wind speed and wind direction with and without precipitation varies with height

2.2.3 不同风向对比 将风向分成 18 个方位范围,平均每个方位宽度为 20°,再针对各个风向范围分别统计出风廓线雷达和探空风向误差小于 20°的有效样本比率,结果如图 6 所示。

由图 6 可以看出,西南方向的风向有效样本比率接近 80%,东北方向有效比率接近 70%,二者有效比率明显大于其他方向;即当风向为东北或西南时,风廓线雷达和探空的风向一致性好于其他方向。一致性最差的为东南风向,其风向有效样本比率不足 40%,其次为正北和正东方向约 40% 左右。综合各个方向,满足一致性(有效样本比率≥60%)的方位合计为 80°,不满足一致性的方位合计为 280°,表明预设标准下方位有效性较差。

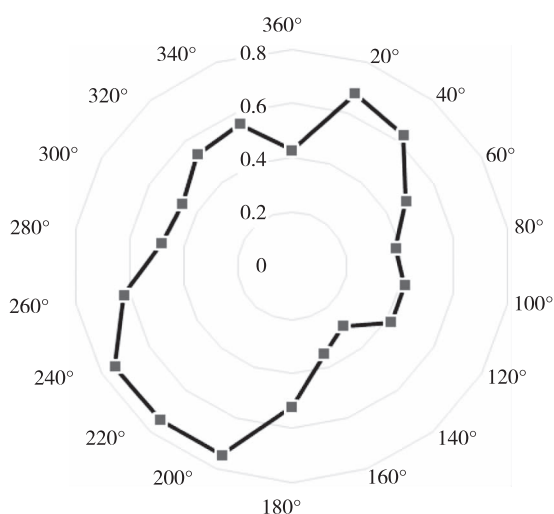


图6 风向有效样本比率随不同风向的变化

Fig. 6 Variation of wind direction effective sample ratio with different wind directions

2.2.4 不同风速对比 将风速以 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为一档,共分为 9 档(如图 7 横轴所示),再对风廓线雷达和探空分别在 9 个不同速度区间内的风速值进行统计。

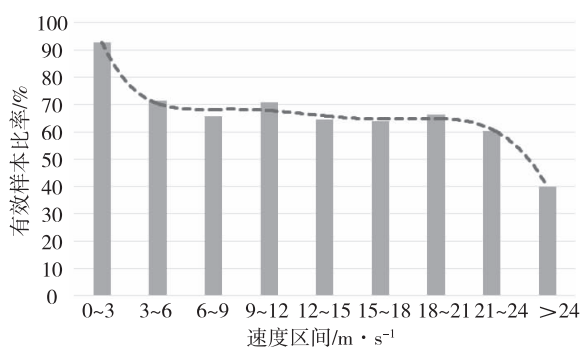


图7 风速有效样本比率随风速大小的变化

Fig. 7 Variation of effective sample ratio of wind speed with wind speed

如图 7,风速有效样本比率随着风速增大而减小,风速 $< 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时有效样本比率可达 90% 以上,风速 $> 24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时有效样本比率为不足 40% 的最小值,风速值处于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间时风速有效样本比率均能达到 60% 以上,因此预设标准下,大部分风速区间均能满足一致性要求。

3 结果综述

本文从多个角度对威宁县风廓线雷达和探空系统的风速、风向数据相关性和有效性进行全面分析,预设 2 种气象设备探测到的风速差 $\leq 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、风向差 $\leq 20^\circ$ 为有效的数据样本,具体分析结果

如下:

①从数据相关性角度来看,风廓线雷达与探空的风向总体上具有一定的正向高度相关性,风速具有一定的正向中度相关性;而在单次对比结果上,风速风向数据正向相关性较好,其中风速、风向满足中度相关的数据个数分别占总数据量的 83.5%、85.1%。综合以上结果,风廓线雷达和探空系统的风速、风向数据具有较好的正向相关性。

②从数据有效性角度来看,根据预设标准,风速随高度变化的有效样本比率总高于风向有效样本比率,且无论有无降水或任意时次。在不同高度下,风速、风向数据样本有效比率总表现为低层(500 m 左右高度以下)最小,最高层次之,中高层较大(最大可达 90%);在不同时次下,风向平均有效样本比率与风速样本比率随高度变化的值近似相等且其变化趋势相似;在不同降水情况下,风速、风向有效样本比率随高度变化的值在有降水时比无降水时总体偏小且变化幅度较大;在不同风向下,由于误差标准限定,除了东北和西南方位总计 80° 的方位区间外,2 部设备的风向一致性在大部分方向上均较差;在不同风速下,除了 $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的风速外基本上都具有较好的一致性。

4 讨论分析

①由于风廓线雷达仅探测本站上空风场,而探空气球是随着风场扰动在运动,遇到风场条件较为复杂时,探空气球会出现忽近忽远或者远离测站上空的情况,难免会导致探测范围不一致。如果本站上空是受较为稳定的系统性流场控制,即使探空气球随气流飘到较远的地方,其所测到的风场与本站的风场也会相差较小。反之,若本站受局地性强对流控制,尤其是对流中存在风场切变、涡旋、辐合辐散等系统,风场小范围的变化会引起较大的风速风向差,影响风场数据的一致性。后续研究可以先对探测数据样本进行稳定性气流和局地性强对流等系统分类,然后再进行统计分析。

②根据研究结论可知,500 m 左右高度是影响数据一致性的“拐点”,具体表现为在不同时次、不同降水条件下,500 m 高度以下风速风向有效样本比率极低,而 500 m 以上风向风速有效样本比率相对会高很多。这是由于测站附近存在较多房屋、树木等地物,对风廓线雷达低层风场的探测产生了一定的干扰,使得雷达基数据受到污染,最终导致雷达探测获取到的风场数据可靠性降低。

(下转第 40 页)

4 结论

本文利用 65 个站点的华南地区降水日观测数据以及 NCEP 和 ERA - interim 再分析资料,对华南降水的年代际变化及其集中强降水的环流特点进行了分析,主要结论如下。

①华南地区夏季降水在 1991/1992 年发生了显著的年代际增加。

②年代际尺度上,华南降水增加时,其大气环流场发生显著变化:东亚上空的西风急流减弱偏北,西北太平洋副热带高压位置偏西,华南上空低层辐合、高层辐散、垂直运动以及水汽输送的辐合均增强,这些条件有利于华南地区降水的年代际增加。

③集中强降水的综合水汽输送得到加强,每条路径的贡献与一般极端降水相比有显著变化。南海和西北太平洋是主要的增强水汽的来源,而热带印度洋发挥了相对较弱的作用。根据 2 个时期的差异,来自西北太平洋和南海的水汽得到加强,而 1992—2010 年与 1980—1991 年相比,来自热带印

度洋的水汽减少。

④对华南集中强降水的个例分析进一步表明,低层辐合和上层辐散均较年代际偏多降水的情况更强,且华南有上升运动的异常,导致了集中强降水事件的发生。

参考文献

- [1] 曾妮,方鹏,李启芬,等. 安顺市大暴雨的时空分布特征与物理量分析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(6):66-70.
- [2] 顾薇,李崇银,杨辉. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析[J]. 气象学报,2005,63(5):728-739.
- [3] 周连童. 华北地区夏季降水的年际变化特征[J]. 大气科学学报,2009,32(3):412-423.
- [4] DING YH, REN GY, Shi GY, et al. National assessment report of climate change (I): climate change in China and its future trend [J]. Adv. Clim. Change Res,2006,2(1):3-8.
- [5] 黄荣辉,蔡榕硕. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系[J]. 大气科学,2006,30(5):730-743.
- [6] 肖艳林,池再香,严锐,等. 准静止锋背景下的贵州 2 次暴雨天气过程对比分析[J]. 中低纬山地气象,2019,43(1):1-8.
- [7] 杨熠,简茂球,谢和林. 副高影响下遵义市区域性暴雨的天气系统特征研究[J]. 中低纬山地气象,2018,42(6):16-21.
- [4] 张寅,樊超,赵娜,等. 长安风廓线雷达测风资料的可靠性验证[J]. 干旱气象,2017,35(3):507-515.
- [5] 黄金全,李丽丽,文继芬,等. 风廓线雷达和多普勒天气雷达在一次强对流天气过程中的分析应用[J]. 中低纬山地气象,2019,43(3):34-40.
- [6] WEBER B L, WUERTZ D B. Comparison of Rawinsonde and Wind Profiler Radar measurements. [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,1990,7(1):157(1)-174.
- [7] 原野,李力,周永水,等. 贵阳和威宁霜消时气象要素对比分析[J]. 中低纬山地气象,2022,46(1):91-95.
- [8] 杨哲,许弋,曾勇,等. 贵州边界层风廓线雷达数据获取率分析[J]. 科技创新与应用,2021(2):92-94.
- [9] 夏文梅,陈楠,程婷,等. 降水过程中多普勒天气雷达风廓线产品特征[J]. 气象,2008,34(10):20-26.
- [1] 周志敏,万蓉,崔春光,等. 风廓线雷达资料在一次冰雹过程分析中的应用[J]. 暴雨灾害,2010,29(3):251-256.
- [2] 王欣,卞林根,彭浩,等. 风廓线仪系统探测试验与应用[J]. 应用气象学报,2005(5):693-698.
- [3] 万蓉,周志敏,崔春光,等. 风廓线雷达资料与探空资料的对比分析[J]. 暴雨灾害,2011,30(2):130-136.

(上接第 33 页)

③预设风速风向误差标准可以直接影响 2 个设备之间风速风向的有效样本比率,故选择合适又受认可的误差标准尤为重要。后续可以根据本地探测数据特征,利用大量的本地数据样本进行分析验证得到 1 个符合本地风场数据样本分析的误差标准。

参考文献