

鲁峻麟,黄惺惺,顾桃峰,等. 测风雷达在超大城市综合观测中的探测效能评估[J]. 气象研究与应用,2021,42(4):101-105.

Lu Junlin,Huang Xingxing,Gu Taofeng,et al. Evaluation of detection efficiency of wind radar in comprehensive observation of mega cities[J].Journal of Meteorological Research and Application,2021,42(4):101-105.

测风雷达在超大城市综合观测中的探测效能评估

鲁峻麟¹, 黄惺惺², 顾桃峰¹, 张志坚¹, 贾宁远¹

(1.广州市突发事件预警信息发布中心, 广州 511430; 2.广东省气象公共安全技术支持中心, 广州 510641)

摘要: 针对广州超大城市综合观测建设中,为了获取典型天气过程特征风数据,需使用最优观测设备连续观测城市上空边界层内风分布状况的问题,选取 3 部不同类型的测风雷达与清远探空站数据进行对比分析。通过计算测风雷达数据的可用率、风向风速准确率及误差情况,对 3 部测风雷达的探测效能做出评估,得出在边界层内不同垂直高度上探测效能最优的设备,为广州超大城市综合观测建设提供依据。

关键词: 超大城市;综合观测;测风雷达;探空站;探测效能

中图分类号: P412

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.4.18

OSID:

引言

气象领域传统的测风手段有风杯风速计、常规探空气球等^[1],随着测风手段的更新以及对气象设备认同度的提升,风廓线雷达也逐渐被气象部门所接纳^[2-3],成为日常的风场测量设备。传统的风速计和风向标只能实现单点测量,借助测风塔后实现对应高度层的风场信息检测,但这类传统装置易受冰冻天气影响,测风塔的搭建和维护也需要花费大量的人力物力,还存在移动困难和前期征地手续复杂等问题^[4-7]。微波雷达常用波长主要为厘米波,与大气中的大尺寸粒子(如云、雨、冰等)相互作用产生回波,无法与大气中的分子或气溶胶颗粒产生作用,而晴空时大气中大尺寸粒子较少,因此微波雷达在晴空天气条件下将出现探测盲区,此外微波雷达还具备庞大的收发系统也导致其移动的困难^[8-9]。因此,迫切需要补充新型的风场测量手段替代传统测风装置实现大气风场信息的测量。

扫描型多普勒测风激光雷达系统是一种小型、全自动、无环境电磁干扰的多普勒激光雷达,实现全天候、不间断的三维低空风场探测^[10-11],通过配置多

台激光测风雷达组网观测业务软件平台,实现风廓线、垂直气流及 PPI/RHI/水平风场的组网探测及业务分析功能。测风激光雷达采用人眼安全 1550nm 激光波段、近红外激光探测等技术,具有时空分辨率高、自动化程度高、安装简单易维护、移动便携性好等优势,因此成为了最具前景的风场信息测量手段。近年来激光测风雷达已在气象、风电、民航和环保等领域有越来越多的成熟应用案例^[12-14],在多种不同的气象环境中验证了雷达风场探测的可靠性和准确性。

在广州超大城市综合观测建设中,需连续空间上观测城市上空边界层内风分布状况,获取典型天气过程特征风数据。本文通过对比分析 3 部不同测风雷达的探测效能,为综合观测建设提供依据,提高广州超大城市综合气象观测资料的本地化应用水平,为探索建立业务化应用提供参考依据。

1 观测设备及数据来源

1.1 观测试验及设备性能

自 2019 年广州超大城市综合气象观测试验启动以来,为验证超大城市综合观测试验设备观测

收稿日期: 2021-05-30

基金项目: 国家重点研发计划“重大自然灾害监测与防范”重点专项(2017YFC1501700)、广东省科技计划项目(2019B121201002)

作者简介: 鲁峻麟(1989—),男,硕士研究生,工程师,主要从事气象探测设备维护及新技术研发应用。

数据的可靠性,选择3部不同的测风雷达与清远探空站资料进行对比观测,为保护厂家信息,将3部测风激光雷达分别以L、W、Y表示,各性能参数见表1。

表 1 三部测风激光雷达性能参数

| | L | Y | W |
|----------------------------|------------|------------------|-------------|
| 工作波长(nm) | 1550 | 1550 | 1550 |
| 单脉冲输出能力(μJ) | 20 | >110 | ≥150 |
| 脉冲重复频率(kHz) | >5 | 20 | 10 |
| 探测距离(m) | 45~2500 | 60~3500(与大气状况有关) | 45~6000 |
| 垂直分辨率(m) | 20~100(可调) | 30、50、75、100 | 15、30(用户设定) |
| 径向风速范围(m·s ⁻¹) | 0~60 | 0~60 | 0~75 |
| 风速测量精度(m·s ⁻¹) | ≤0.8 | ±0.5 | ≤0.1 |
| 风向范围(°) | 0~360 | 0~360 | 0~360 |
| 风向测量精度(°) | ≤10 | ±2 | <3 |
| 重量(kg) | ≤25 | 246 | <90 |

1.2 数据来源及处理

选取2020年6月1日—7月6日的观测资料作为有效对比资料。在对比评估中主要基于探空资料,把三部测风雷达的可探测高度、垂直分辨率作为参考,分析评估观测高度上的风向、风速,包括数据可用率(非缺测率)、风向/风速准确率、风向/风速平均绝对误差以及风向/风速均方根误差。具体计算公式如下:

平均绝对误差: $MAE=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^m|x_i-y_i|$ (1)

均方根误差: $RMSE=\sqrt{\sum_{i=1}^n(x_i-y_i)^2/n}$ (2)

式中, x_i 表示某一高度测风雷达观测值, y_i 表示对应高度的探空观测值, m 、 n 表示该高度上有效样本数。

2 观测试验数据分析

2.1 数据可用率

根据观测资料,统计观测日期内探空施放球时间(北京时07时、19时)内3部测风雷达的数据可用率,得出100m以下L雷达探测效能最优,数据可用率达100%;W雷达次之,数据可用率为80%;Y测风雷达数据可用率仅75%。100~1000m,L和Y雷达相当,数据可用率均为100%,W雷达从80%逐渐下降到70%。1000~2000m,Y雷达最优,数据可用率在90%以上,L雷达数据可用率从90%逐渐下降,W雷达从70%下降到55%左右。2000m以上,L雷达数

据可用率从70%逐渐下降,W雷达从50%逐渐下降,Y雷达数据可用率为0。

2.2 风向数据分析

基于3部测风雷达探测高度,提取探空数据接近高度上的风向数据作为对比值,对测风雷达风向数据的准确率、绝对平均误差以及均方根误差进行分析。如果测风雷达所观测风向与探空风向偏差小于10°则认为测风雷达数据准确。

2.2.1 风向观测数据准确率分析

根据3部测风雷达风向观测数据和清远站探空数据,分析3部测风雷达风向观测数据准确率,如图1所示。

从图1可看出,L测风雷达风向观测数据准确率分布较不稳定,在统计样本量较小的高度范围(1500~3000m)易出现准确率为0的探测结果;在统计样本量较大的高度上,200m以下高度准确性较差,未超过60%,高层准确率基本维持在80%以上,个别高度风向探测准确率能达到100%。W测风雷达风向观测数据准确率较差,2000m高度以上层次探测数据准确率基本为0,2000m高度以下层次准确率分布不稳定,大部分高度上准确率低于50%。Y测风雷达风向观测数据准确率分布较稳定,除在个别层次由于统计样本量较小出现了准确率为0的探测结果(800m和1000m高度)之外,在统计样本量较大的高度上,风向准确率基本能达到60%以上。其中,400~1300m之间是数据准确率较高,某些高度可达到90%以上的准确率,个别高度风向探测准确

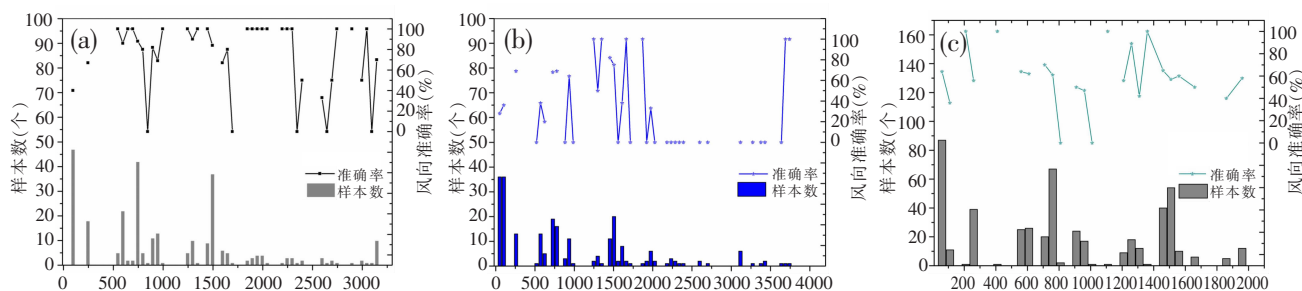


图1 三部测风雷达风向数据准确率

(a)L测风雷达;(b)W测风雷达;(c)Y测风雷达

率能达到 100%。

2.2.2 风向观测数据误差分析

为进一步分析测风雷达风向观测数据的误差分布情况,分别统计3部测风雷达风向观测数据的平均绝对偏差和均方根误差随高度的分布(图2)。

从风向探测数据看,3部测风雷达对中层的风向探测误差最小,L测风雷达平均绝对误差和均方根误差控制在 10° 左右;W测风雷达平均绝对误差维持在 15° 左右。低层、高层探测误差均较大。其中Y测风雷达风向探测的平均绝对误差基本上控制在

20° 以内,除800m和1000m高度以外,其余层次平均绝对误差基本在 10° 以内,个别高度只有 $1\sim 2^\circ$ 的误差;风向探测的均方根误差除60m高度均方根误差接近 40° 之外,其余高度均方根误差基本控制在 20° 以内,大部分高度均方根误差都在 10° 左右。

比较3部测风雷达的风向准确率以及误差分布可以发现,Y雷达除了近地面层准确率误差稳定性较低以外,其余高度准确率和误差稳定性均优于L测风雷达和W测风雷达,在高层2000m以上,L雷达较优,W雷达次之,Y雷达最差。

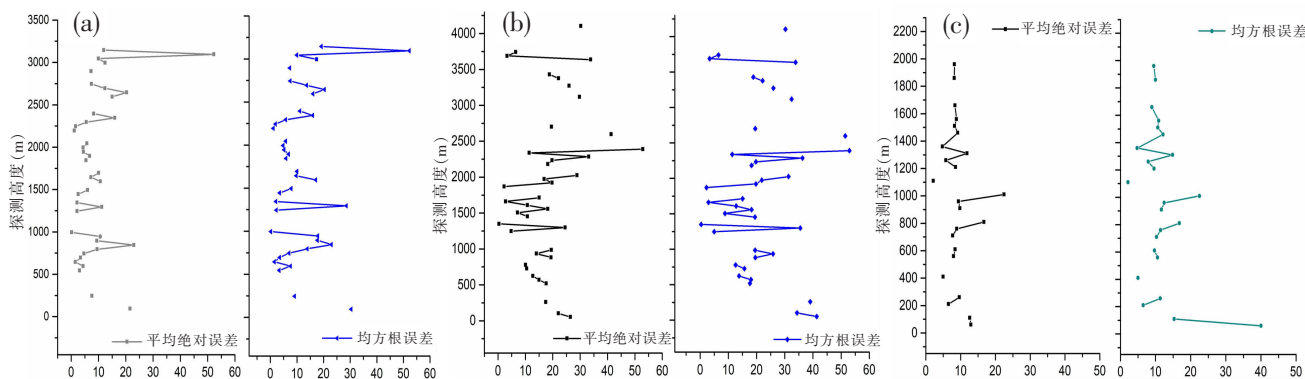


图2 三部测风雷达风向数据平均绝对误差和均方根误差分布

(a)L测风雷达;(b)W测风雷达;(c)Y测风雷达

2.3 风速数据分析

基于3部测风雷达探测高度,提取探空数据接近高度上的风速数据作为对比值,对测风雷达风速数据的准确率、绝对平均误差以及均方根误差进行了分析。如果测风雷达所观测风速与高度接近的探空风速偏差小于 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 则认为测风雷达数据准确。

2.3.1 风速观测数据准确率分析

根据3部测风雷达风速观测数据和清远站探空数据,分别分析测风雷达风速观测数据准确率(图3)。

由图3可知,L测风雷达风速观测数据准确率分布与风向准确率基本相同,呈现较不稳定的趋势。

在统计样本量较小的高度范围(1500~3000m)易出现准确率为0的探测结果。在统计样本量较大的高度上,200m以下高度准确性较差,未超过60%,高层准确率基本维持在80%以上,个别高度风速探测准确率能达到100%;W测风雷达风速观测数据准确率较差,2000m高度以上层次探测数据准确率基本为0,2000m高度以下层次准确率分布不稳定,大部分高度上准确率低于50%;Y测风雷达风速观测数据准确率分布较稳定,除在个别层次由于统计样本量较小出现了准确率为0%的探测结果(1100m和1360m高度)之外,在统计样本量较大的高度上,

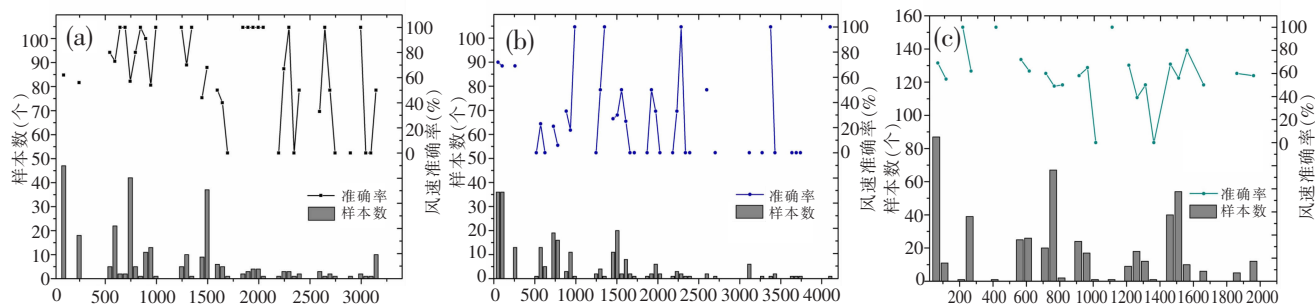


图3 三部测风雷达风速数据样本数与准确率

(a)L测风雷达;(b)W测风雷达;(c)Y测风雷达

风速准确率基本能维持在 60%左右,个别高度风向探测准确率能达到 100%。

2.3.2 风速观测数据误差分析

为进一步分析 3 部测风雷达风速观测数据的误

差分布情况,分别统计了 3 部测风雷达风速观测数据的平均绝对偏差和均方根误差所高度的分布,如图 4 所示。

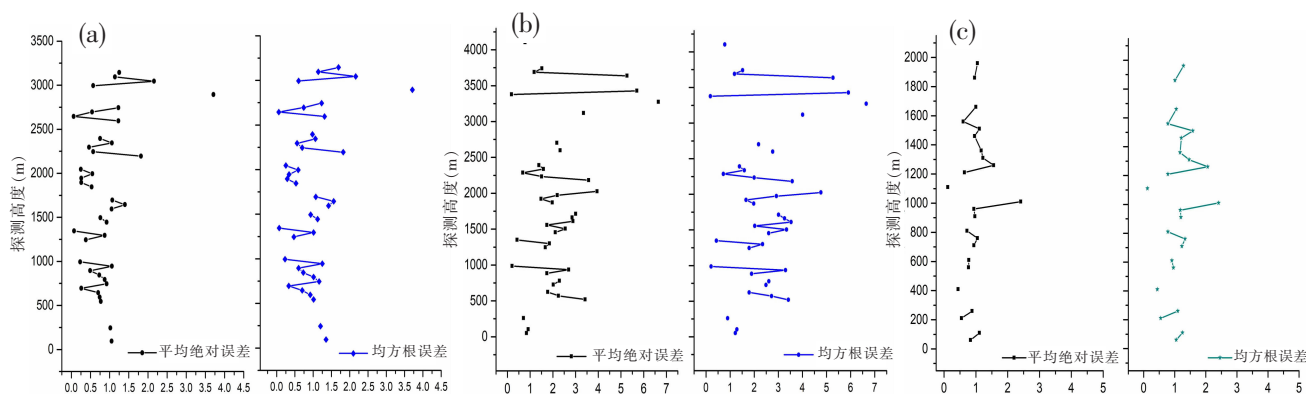


图4 三部测风雷达风速数据平均绝对误差和均方根误差分布

(a)L测风雷达;(b)W测风雷达;(c)Y测风雷达

从风速探测数据来看,3 部测风雷达对中低层的风速探测误差最小,L 测风雷达平均绝对误差和均方根误差分别为 $0.69\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.80\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;W 测风雷达平均绝对误差和均方根误差分别为 $2.08\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $2.37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;Y 测风雷达平均绝对误差和均方根误差分别为 $0.83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $0.99\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。高层探测误差均较大,高层探测误差较大的原因有可能由于探空气球飘移距离较远所致。

比较三部测风雷达的风速准确率以及误差分布可以发现,在中低层 (2000m 以下)Y 测风雷达和 L 测风雷达准确率和探测误差较为接近,W 雷达较差。

2.4 逐日误差分析

通过分析 3 部测风雷达逐日所有观测高度的平均绝对误差(MAE)评估测风雷达在观测期间的稳定性。从风向的绝对平均误差值来看,W 测风雷达误差明显高于 L 和 Y 测风雷达,L 和 Y 测风雷达风

向观测误差较为接近。

从风速的绝对平均误差值来看,W 测风雷达误差明显高于 L 和 Y 测风雷达,L 和 Y 测风雷达风速观测误差较为接近,但在观测前期 Y 测风雷达风速观测还是略低于 L 测风雷达风速观测。

3 结论与讨论

(1) 在数据可用率方面,Y 测风雷达数据可用率除 60m 高度较低外,其余高度数据可用率均达到 90%以上,在同样高度层次上优于 L 测风雷达数据可用率和 W 测风雷达数据可用率;其中 W 测风雷达数据可用率表现最差。2000m 以下 Y 雷达数据最优,L 雷达次之,W 雷达最次,2000m 以上 L 雷达数据最优,W 雷达次之,Y 雷达基本为 0。

(2) 从测风雷达的风向探测数据来看,3 部测风雷达对中层的风向探测误差最小,低层次之,高层

探测误差均较大。比较 3 部测风雷达的风向准确率可以发现,在中层(2000m 以下),L 雷达观测数据的平均绝对误差和均方根误差控制在 10° 左右,L 雷达与 Y 雷达较优,W 雷达较差。

(3) 从测风雷达的风速准确率以及误差分布来看,在中层(2000m 以下),L 雷达和 Y 雷达较优,W 雷达次之。在低层(1000m 以下)Y 测风雷达和 L 测风雷达准确率和探测误差较为接近,探测效果最好;W 测风雷达对风速的探测效果最差。

(4) 从逐日三部测风雷达的风向、风速平均绝对误差分布可以看出,L 和 Y 雷达的逐日风速、风向误差较为接近,但 Y 雷达观测误差还是略低于 L 雷达,W 测风雷达误差明显高于 L 和 Y 测风雷达。

本研究所取的时段较短,样本较少,研究结果可能有一定的局限性。且由于探空气球在上升过程中会存在飘移情况,而测风雷达进行垂直探测,因此在对高层数据的评估中无法剔除由于探空气球飘移动所产生的误差。

参考文献:

- [1] WMO. 气象仪器和观测方法指南第六版 (中译本)[Z]. 北京:气象出版社,1996:222-239.
- [2] 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.
- [3] 刘吉,范绍佳,方杏芹.风廓线仪研究现状与应用初探[J].热带气象学报,2007,23(6):693-697.
- [4] 张春阳,彭力.1981—2010 年洪家气象站风向风速变化特征分析[J].气象研究与应用,2017,38(2):72-76.
- [5] 沙拉木,李盼攀,李林红,等.高空气象探测技巧探讨[J].气象研究与应用,2018,39(2):98-100.
- [6] 李辉城,陈华,黎洁波,等.高空气象探测测风计算方法的分析[J].气象研究与应用,2009,30(2):78-81.
- [7] 张明,杜裕,廖雪萍,等.基于探空秒级数据的鄂西南高空风特征分析[J].气象研究与应用,2018,39(1):85-90.
- [8] 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,2006:51-62.
- [9] 黄芸,卢雪勤.简化 L 波段探空仪基值测定操作方法的探讨[J].气象研究与应用,2018,39(3):104-105.
- [10] 程志刚,李炬,张鑫宇,等.基于三台测风激光雷达的大气湍流和三维风场研究[J].气象学报,2020,78(6):1021-1036.
- [11] 肖小平,卢超,杨红龙,等.深圳气象梯度塔与测风激光雷达观测对比分析[J].广东气象,2019,41(1):77-80.
- [12] 陈玉宝,高玉春,刘秉义,等.基于切比雪夫方法的多普勒激光雷达高空风场垂直探测精度的评估分析[J].热带气象学报,2014,30(2):327-344.
- [13] 夏俊荣,王普才,闵敏.新型多普勒测风激光雷达 Windcube 的风参数观测与验证[J].气候与环境研究,2011,16(6):733-741.
- [14] 傅军,李洁,吴强.激光测风雷达在风场观测领域的应用及展望[J/OL].空气动力学报,2021,39(4):8.

Evaluation of detection efficiency of wind radar in comprehensive observation of mega cities

Lu Junlin¹, Huang Xingxing², Gu Taofeng¹, Zhang Zhijian¹, Jia Ningyuan¹

(1. Guangzhou Emergency Early Warning Information Release Center, Guangzhou 511430, China;

2. Guangdong Meteorological Public Safety Technical Support Center, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Aiming at the problem that the optimal observation equipment must be used to continuously observe the wind distribution in the boundary layer over the city in order to obtain the characteristic wind data of typical weather process in the comprehensive observation construction of Guangzhou, this paper selected three different types of wind radars and Qingyuan radiosonde data for comparative analysis. By calculating the availability, accuracy and error of wind radar data, the detection efficiency of three wind radars was evaluated, and the equipment with the best detection efficiency at different vertical heights in the boundary layer was obtained, which provides a basis for the comprehensive observation construction of Guangzhou.

Key words: mega city, comprehensive observation, wind radar, sounding station, detection efficiency