

吴志根,徐同,丁若洋,等. 2013. 上海组网边界层风廓线雷达与宝山二次雷达测风数据比较分析. 气象, 39(3):370-376.

# 上海组网边界层风廓线雷达与宝山 二次雷达测风数据比较分析<sup>\*1</sup>

吴志根<sup>1</sup> 徐 同<sup>2</sup> 丁若洋<sup>1</sup> 胡 平<sup>3</sup> 陈浩君<sup>3</sup>  
查亚峰<sup>1</sup> 孙 娟<sup>3</sup> 夏卫祖<sup>4</sup>

1 上海市气象局,上海 200030

2 中国气象局上海台风研究所,上海 200030

3 上海市气象信息与技术支持中心,上海 200030

4 上海市宝山区气象局,上海 201901

**提 要:** 文章利用上海边界层风廓线雷达网中 3 台分别布设在松江泖港和嘉定 F1 赛车场的 TWP3 型风廓线雷达以及嘉定外岗的 LAP3000 型风廓线雷达,在 2010 年初冬和 2011 年盛夏各一个月时段的连续原始测风数据,逐个与上海宝山 GFE(L)-1 型二次探空雷达在相同时段中的原始测风数据进行了对比分析研究。并且还将同布设在嘉定地区的两台不同型号的风廓线雷达进行了测风数据的互比分析。在基本稳定的天气条件下,嘉定 F1 赛车场、松江泖港以及嘉定外岗风廓线雷达各自与宝山 GFE(L)-1 型二次雷达探空测风数据进行对比分析的匹配样本数依次是 6733、7350 和 7013 对,其在盛夏时段对比统计的各层风速的平均标准差分别是  $3.34$ 、 $3.37$  和  $4.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在初冬时段则为  $3.22$ 、 $3.22$  和  $3.42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。参与互比分析的 F1 赛车场 TWP3 型风廓线雷达和外岗 LAP3000 型风廓线雷达之间的匹配样本数是 71981 对,其在盛夏时段互比统计的风速平均标准差是  $3.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在初冬时段为  $4.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。有统计曲线表明,本研究中两台 TWP3 型风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型二次雷达探空测风的误差均为  $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其比对精度明显优于嘉定外岗的 LAP3000 型风廓线雷达。文章还提出了风廓线雷达的“有效探测高度”新概念。

**关键词:** 风廓线雷达,二次雷达,比较,有效探测高度

中图分类号: P413

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.03.012

## Comparison of Wind Data Measured by Shanghai Network Wind Profilers and Baoshan GFE(L)-1 Sounding Radar

WU Zhigen<sup>1</sup> XU Tong<sup>2</sup> DING Ruoyang<sup>1</sup> HU Ping<sup>3</sup> CHEN Haojun<sup>3</sup>  
ZHA Yafeng<sup>1</sup> SUN Juan<sup>3</sup> XIA Weizu<sup>4</sup>

1 Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200030

2 Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030

3 Shanghai Meteorological Information and Technical Support Centre, Shanghai 200030

4 Shanghai Baoshan District Meteorological Bureau, Shanghai 201901

**Abstract:** This paper compares the wind data measured and obtained by two TWP3 and one LAP3000 wind profilers located in Jiading and Songjiang areas within Shanghai profiler network in the winter period from 28 October to 28 November 2010 and in the summer time from 1 to 3 July 31 2011 to those measured by Baoshan GFE(L)-1 sounding radar system during the corresponding periods. Furthermore, the wind data probed by two different types of profilers in Jiading area are also compared with each other. The amount of wind data samples obtained under the stable weather conditions for the comparisons between the two types

\* 上海市气象局边界层风廓线雷达组网项目资助

2012 年 4 月 27 日收稿; 2012 年 12 月 10 日收修定稿

第一作者:吴志根,从事风廓线雷达以及气象综合探测技术研究. Email: zgwu@smb.gov.cn

of wind profilers are 71981 pairs, and the total samples comparison of two TWP3 and one LAP3000 profilers with the Baoshan GFE(L)-1 radar data are 6733, 7350 and 7013 pairs, respectively. The results indicate that the average wind speed standard deviations between the TWP3 and LAP3000 are  $3.63$  and  $4.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  for the two corresponding sampling periods above, respectively. The statistic average standard deviations of wind speed in the summer sampling period for Jiading TWP3, Songjiang TWP3, Jiading LAP3000 profilers compared separately to Baoshan GFE(L)-1 sounding radar data are  $3.34$ ,  $3.37$  and  $4.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , sequentially. However, in the winter sampling time, those averaged values of the above-said comparing events are  $3.22$ ,  $3.22$  and  $3.42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . According to the statistic curves, the standard deviation for the two TWP3 wind profilers is  $2$  to  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  when they are compared to Baoshan GFE(L)-1 sounding radar data. Obviously, the two TWP3 profilers have a better system performance than the LAP3000 profiler. A new concept of “efficient sounding height” related to wind profiler radars also is presented for the first time in the paper.

**Key words:** wind profiler, sounding radar, comparison, efficient sounding height

## 引言

目前国内气象观测业务自  $150 \text{ m}$  以上风场数据的来源主要是依靠 GFE(L)-1 型二次探空雷达和风廓线雷达,而风廓线雷达测风的布点和组网工作正在全国范围进行之中。由于二次探空雷达测风与风廓线雷达测风的体系和原理截然不同,前者属于 Lagrangian 测量,即是在不同的时间、对不同的高度和不同的地点进行风的探测;而后者则是 Eulerian 测风,即是在固定位置且同时对其上空各个高度层上的风进行采样。所以需要搞清楚这两者之间在观测数据上的测量偏差情况,以便使这两种不同探测体系的测风数据可以在实际应用中互补。

国外已经对风廓线雷达测风做了大量的分析研究(Larsen et al, 1983; Staffs of NWS and OAR, 1994)以及测量精度比对评估方面的工作,并且取得了许多有指导意义的研究成果。其中,比较有代表性的研究结论是 Strauch 等(1987)利用美国科罗拉多州风廓线雷达网(Strauch et al, 1984)中的同一台 5 波束扫描的对流层 UHF 风廓线雷达,进行了测风精度的互比分析。研究将该风廓线雷达的波束分成三种不同的组合配置形式,即:偏东/偏北波束、偏南/偏西波束、无垂直波束;共用垂直波束其余相同;分用垂直波束其余相同。该项研究指出,在晴空条件下同一个系统的二台风廓线雷达互比测量的水平风分量的标准差为  $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。Wuertz 等(1988)通过研究发现,正确剔除降水影响后风廓线雷达的测风误差可减少至  $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。Weber 等(1990a)在利用美国科罗拉多州丹佛 Stapleton 机场的无线电探空仪测风系统与同站址的 UHF 风廓线雷达长达 2 年测风数据样本进行对比分析后提出,

两者所测水平风速分量的标准差为  $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此外,他们还在同一年中对 UNISYS 公司为 NOAA 风廓线雷达试范网(WPDN)生产的首台风廓线雷达的探测数据分别与波传播实验室(WPL)在 Platteville 同一站址布设的风廓线雷达和美国天气局(NWS)布设在丹佛市的与它们间距  $50 \text{ km}$  的无线电探空系统的测风资料进行比对后,得出的水平风  $u, v$  分量标准差,对其前者是  $2.3$  和  $2.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;对后者则为  $3.65$  和  $3.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Weber et al, 1990b)。

国内尽管曾受客观条件的局限,但也开展了许多风廓线雷达及其测量精度方面的研究工作(吴志根, 2012; 吴志根等, 2011; 吴志根等, 2010; 孙旭映等, 2008; 王欣等, 2005)。早在 2011 年 3 月底,上海市气象局就已基本完成了全市境内风廓线雷达的布点和组网。目前全网共有 10 台边界层风廓线雷达在运行,其主力型号是国产 TWP3 型边界层风廓线雷达和一部分早期建站的进口 LAP3000 型边界层风廓线雷达。本研究将利用该网中 2 台 TWP3 型风廓线雷达和 1 台 LAP3000 型风廓线雷达的测风数据,分别与宝山 GFE(L)-1 型二次探空雷达测风数据进行精度对比以及两种型号风廓线雷达之间资料的互比分析和研究。希望通过对这两种不同测风体系设备获得的数据精度的比较分析,了解并且掌握风廓线雷达测风与目前业务用二次探空雷达测风数据之间的误差情况,以便为风廓线雷达组网布点工作和对其测风资料在气象业务和科研上的应用提供可靠的参考依据。

## 1 数据样本的获取

图 1 是上海组网风廓线雷达的站址布局以及宝山 GFE(L)-1 型二次雷达探空的地理位置示意。本



图 1 上海市组网风廓线雷达布局示意图  
Fig. 1 Distribution of Shanghai network wind profilers

文选择嘉定 F1 赛车场和松江柳港 TWP3 型风廓线雷达以及嘉定外岗镇 LAP3000 型风廓线雷达作为本研究的资料来源。其原因是,在嘉定区内布有两台不同型号的风廓线雷达,且两者的站址间距仅为 10 km,比较合适对二种型号风廓线雷达测风资料进行互比分析和研究。宝山探空站位于嘉定这个风廓线雷达测站的偏东方向,在松江柳港风廓线雷达站的东北方向;其中距外岗 LAP3000 型风廓线雷达 32 km,离 F1 赛车场 TWP3 型风廓线雷达 23 km,离开松江柳港风廓线雷达站 57 km。被选中的三个站均位于上海西部,主城区在它们的东部。这对于每年入侵上海的西风带天气系统而言,三站之间不存在城市建筑群阻挡的问题。

本文所用的分析比较数据全部源自于初冬(2010 年 10 月 28 日至 11 月 28 日)和盛夏(2011 年 7 月 1—31 日)宝山二次探空雷达以及被选中的 3 台风廓线雷达在上述两个时间段中的测风资料。为了尽可能地使得参加比较的取样数据在时间和高度上对应一致,本文中参加比较的风廓线雷达以及二次探空雷达的测风资料的取样将遵守以下规则。由于组网的测风设备均属边界层风廓线雷达,故测风资料的取样高度,在盛夏时段中限定在 160~3940 m 的范围内,一共分为 64 个比较高度层;而在初冬时段中高度限定在 160~1600 m,共分为 25 个比对高度层。垂直分辨率在这两个时段中均取 60 m。其中两种型号风廓线雷达间互比资料的高度匹配误差在 60 m 以内,而 GFE(L)-1 型雷达测风资料取样的高度范围及各个分层高度完全与 TWP3 风廓线雷达的情况相同。参加互比的风廓线雷达测风数据

的时间分辨率为 30 min,每天共有 48 条测风廓线进行比较。而风廓线雷达分别与二次雷达进行对比的数据样本是取自每天 07:30、13:30、19:30 和 01:30 的 4 条测风廓线与每天 07:15、13:15、19:15 和 01:15 宝山二次雷达施放探空气球的测风资料相匹配。由于比较的高度小于 4 km,所以用 V3.02 版的 GFE(L)-1 型雷达探空数据处理软件(中国气象局监测网络司,2005 年),从每次探空后生成的秒数据文件中提取气球施放后的随后 12 min 里的各个选定高度层上的测风数据。在这些规定下,本研究在上述两个时段中所用的统计匹配样本的总数是 93077 对,其中参加两种型号风廓线雷达互比分析的统计匹配数据为 71981 对;用于风廓线雷达与二次雷达测风对比分析的配样本数为 21096 对。特别需要指出以下几点:一是除了将资料样本进行配对外,参加本比较分析的测风数据均是未经任何处理的原始数据;二是由于风廓线雷达采用的是 Eulerian 测风法,故本文仅对最终的风速测量值进行比较;三是为了搞清两种组网型号的边界层风廓线雷达在测风性能上的差异,将 2011 年整个 7 月的配对数据按照稳定(无雨)天气与不稳定(有雨)天气进行了分类以及统计对比分析。文章还对 2012 年台风梅花影响上海期间两种测风体系设备采样配对的单个样本数据进行了误差比较。

## 2 分析与结果

图 2 是根据统计结果点绘的在各个层次上的风速标准差和相关系数曲线图。其中图 2a<sub>1</sub> 是嘉定 F1 赛车场 TWP3 型风廓线雷达与嘉定外岗镇 LAP3000 型风廓线雷达在盛夏和初冬时段中测风数据互比的误差统计情况;图 2b 是柳港、F1 赛车场和外岗三台风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 探空雷达的测风资料在两个比较时段的标准差统计曲线,而图 2c 则是三台风廓线雷达与宝山探空雷达在同样的时段中的相关系数统计曲线。

从图 2a<sub>1</sub> 可看到,在初冬与盛夏时段中 TWP3 和 LAP3000 风廓线雷达测风数据互比的统计值在 160~1000 m 高度里差别不大;其中标准差值 2~4 m·s<sup>-1</sup>,相关系数在 0.7~0.9 之间波动。这表明在数据互比取样时段内,尽管会有小尺度天气系统被平滑的可能,但总体上被测天气系统的水平尺度应大于 10 km。本分析认为这两台风廓线雷达在资料的互比期间,基本上是在相同天气系统下的测量。

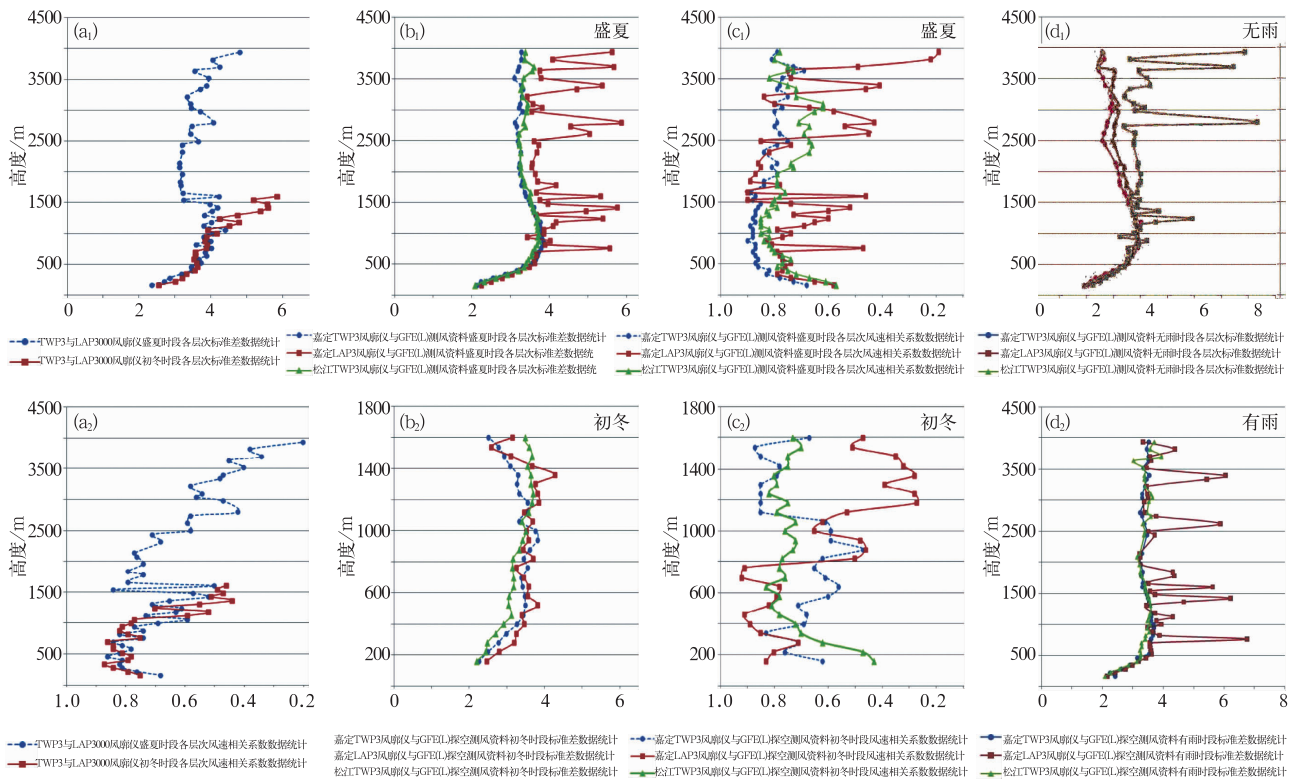


图 2 上海组网边界层风廓线雷达探测数据互比以及和宝山 GFE(L)-1 型探空雷达测风资料对比统计曲线  
 Fig. 2 Curves for intercomparison of the data from Shanghai network wind profilers and for the comparison of the data with those from Baoshan GFE(L) sounding radar system

表 1 上海组网边界层风廓线雷达及宝山二次雷达部分技术指标

Table 1 Some parameters of wind profilers in Shanghai network and of Baoshan GFE(L)-1 sounding radar

技术指标	松江泖港 TWP3	赛车场 TWP3	外岗 LAP3000	GFE(L)-1
峰值功率/W	2200/2300	1790/1800	530/470	≥15 kW
最大探测高度/km	4~6	4~6	3~5	25~30
天线增益 G/dB	>30	>30	>29	>25
波束宽度/°	≤4.5	≤4.5	<8	<6

在 1000~1600 m 高度范围内,初冬时段的(红色)互比统计曲线的标准差明显随高度增大,相关系数急剧减小。该段统计曲线表明,在互比的两台风廓线雷达中有一台探测数据的质量出现了问题。本分析认为在此高度范围里互比误差变大主要是 LAP3000 型风廓线雷达造成的。其主要理由是:冬季时段该高度范围里大气的反射信号小且 LAP3000 的发射功率低,存档数值仅为 530 W 左右,而 TWP3 为 1790 W,前者还不到它的 1/3,故接收到的信号的 SNR 显然比 TWP3 差很多。由于风廓线雷达采用周期图方法估算矩,当信号的 SNR 很差时,用周期图方法从多普勒频谱中估计矩事实上是对噪声信号的测量(May et al, 1989)。尽管风廓线雷达系统在信号处理上对平均后的频谱有无信号设置了最小信噪比阈值(Riddle et al, 2012),但是

相对常用的 15 和 30 min 时间平均窗口而言,其临界弱信号的矩估计值不稳定,雷达系统需要研究更为适合的质量检验方法。图 2a<sub>1</sub> 的互比曲线表明,在盛夏时段该高度范围内回波信号比冬季强。尽管 LAP3000 发射功率较小,存档数值为 470 W 左右,相应的 TWP3 为 1800 W,但是 SNR 尚可,互比误差减小。在 1500~2500 m 高度范围内,结合图 2b<sub>1</sub> 中的相同高度范围的红色曲线段,进一步表明盛夏时段中该段大气空间满足 Bragg 匹配的湍流尺度较多,返回信号较强。即便是 LAP3000 风廓线雷达的发射功率小,也可以获得很好的 SNR 信号。所以互比的误差较小并且在此高度范围内互比的标准差值基本保持不变。该高度范围是否属于上海城市混合层的中心,还需要进行深入细致的研究。在 2500~4000 m 高度范围内,同样结合图 2b<sub>1</sub> 中的红色统计

曲线,可发现大气中的信号很弱,在 LAP3000 风廓线雷达 470 W 发射功率的情况下,获得的数据质量较差。所以互比的标准差离散,曲线反映左右扭曲且标准差随高度急剧变大,同时相关系数快速变小。

从图 2b<sub>1</sub> 可清楚地看到,从 160 m 向上直至 1000 m 高度附近,参比的三台风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型(中国气象局监测网络司,2004)探空雷达测风数据比较的统计标准差值基本相同,其统计曲线基本上完全重叠。图 2b<sub>2</sub> 是冬季的情况,该图也反映出了类似的现象,只是统计误差曲线之间稍有不同。回到图 b<sub>1</sub>,从 1000 m 向上直至 4000 m 高度,位于嘉定 F1 赛车场与松江泖港镇的两台 TWP3 型风廓线雷达的统计误差曲线(蓝线与绿线)仍是完全重叠,只是在 2500 m 高度以上才略有差别。并且从 340 m 高度向上至 4000 m,风速的统计标准差始终保持在 3~4 m·s<sup>-1</sup>,而整个比较高度范围内的统计差值为 2~4 m·s<sup>-1</sup>。然而,位于嘉定外冈镇的 LAP3000 型风廓线雷达的误差统计曲线(红线),在 1000 m 高度以上除了在 1500~2500 m 范围内误差稍小一点以外,其余高度上的统计误差明显比两台参比的 TWP3 型风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型探空雷达测风数据比较的标准误差大很多,且该红色统计曲线始终在大误差值坐标区间里大幅波动,误差数值不收敛。本文对图 2 中误差统计曲线的进一步分析后还得到以下结论:

一是在本研究中风廓线雷达站离开宝山探空站的距离不是造成测风误差统计(红色)曲线出现大幅波动的主要原因,它在风速统计误差中占据的权重

较小。因为松江泖港 TWP3 风廓线雷达离宝山探空站的距离是 57 km,几乎是嘉定 F1 赛车场 TWP3 风廓线雷达离宝山探空站 23 km 的 2.5 倍,但图 2b<sub>1</sub> 中的二条风速统计误差曲线(蓝线与绿线)却基本上完全重叠一致。另外,从该图还可看到,在最低的 1000 m 比较高度范围里,三台风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 探空雷达测风数据对比的误差统计曲线几乎完全重叠,其误差数值基本上相同。图 2c 是三者与宝山探空比较的统计相关系数曲线图。图 2c<sub>1</sub> 中的蓝线和绿线的分布较好地反映了风廓线雷达站与宝山探空站之间距离的大小。但是图 2c<sub>2</sub> 中的曲线基本上反映了在进行数据比较统计的初冬时段里,其被测天气系统的水平尺度基本上大于参比站点的间隔距离,从而使得这些统计曲线的特点不明显。

二是造成图 2b<sub>1</sub> 中红色统计误差曲线出现大幅波动不稳定现象的主要原因是参与宝山探空雷达测风精度比较的数据取样的高度范围。若将本研究中风廓线雷达与宝山二次探空雷达的测风资料比较的高度设定为 1000 m,则图中显示的统计误差曲线几乎是重叠的,LAP3000 型风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型雷达测风的比较精度与 TWP3 型风廓线雷达比较精度相当。但是本研究设定的比较高度为 4000 m,根据图中蓝色和绿色统计曲线的情况,可知 TWP3 型风廓线雷达在整个比较高度范围里数据样本的质量较好,与探空测风的精度误差被控制在一定的范围里。而红色统计曲线恰恰反映出 LAP3000 型风廓线雷达在 1~4 km 高度范围里取样数据的质量明显有问题,其误差是失控的。本研

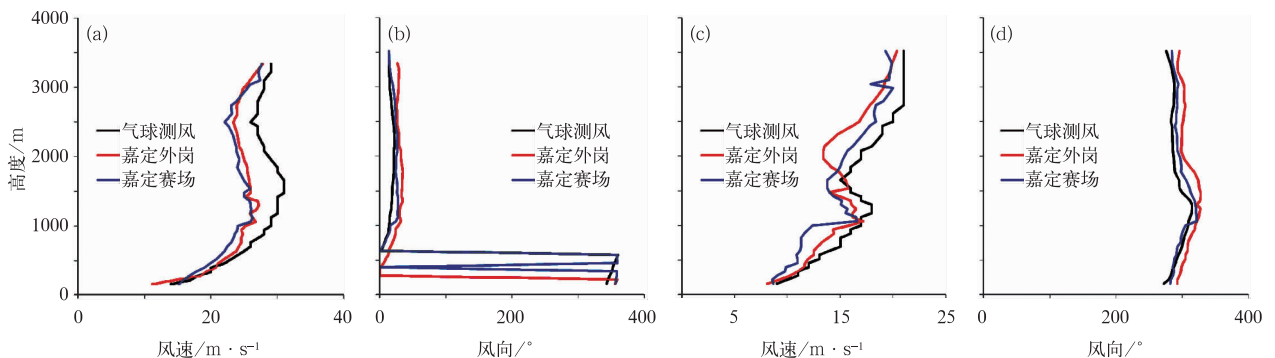


图 3 台风梅花期间上海两种型号组网边界层风廓线雷达探测数据与宝山探空雷达测风资料对比曲线  
(a)和(b) 2011年8月7日01时测风的比对情况,(c)和(d)2011年8月7日19时的情况

Fig. 3 Curves for the comparison of the data from the two types of network wind profilers in Shanghai and from the Baoshan GFE(L)-1 sounding radar during the typhoon Muifa  
(a,b) 01 BT 7 August 2011, (c,d) 19 BT 7 August 2011

究通过深入分析得到了启发并且提出一个新的技术观点,即:若要使风廓线雷达测风数据与二次探空雷达测风数据比较的统计误差值能被控制在一定范围以内,则要求风廓线雷达在某一个探测高度范围内接收到的信号回波必须满足一个 SNR 阈值,满足该 SNR 阈值的返回信号的最大取样高度则称之为风廓线雷达的“有效探测高度”。研究认为,在其他性能指标相同的情况下,风廓线雷达的“有效探测高度”的高低应该直接与该雷达的发射功率成正比。表 1 指出 LAP3000 型风廓线雷达的峰值发射功率仅为参比的两台 TWP3 型风廓线雷达的  $1/4 \sim 1/3$ , 所以可获得优质稳定的测风数据样本的“有效探测高度”比 TWP3 型风廓线雷达低很多,从而导致了在“有效探测高度”以上取样的信号无法满足这个 SNR 阈值。尽管风廓线雷达系统用周期图方法估算的矩数据可以通过系统本身的质量检验,但低的 SNR 使超出“有效探测高度”范围的数据的质量失控,无法与其配比较的 GFE(L)-1 型探空雷达测风数据的质量相媲美才是问题的本质所在。

三是根据图中误差统计曲线所示,基本可确定参比的两台 TWP3 型风廓线雷达与 GFE(L)-1 型探空雷达测风精度可控的“有效探测高度”,在盛夏时段是 4 km 左右,而 LAP3000 型风廓线雷达则还不到 1 km。前者的“有效探测高度”约是后者的 4 倍。该结果也绝非与 TWP3 型风廓线雷达的发射功率是 LAP3000 型风廓线雷达的 3~4 倍而成为一种巧合,应该连同确定风廓线雷达“有效探测高度”的“SNR 阈值”的取值大小,开展深入细致的研究。增加风廓线雷达的峰值发射功率是提高(有效)探测高度的有效手段,但同时需对风廓线雷达的发射脉冲功率定标,以方便研究确定本研究提出的接收信号的“SNR 阈值”。

图 2d 是将 2011 年 7 月的测风数据,按照稳定天气(无雨)和不稳定天气(有雨)分类后,各自与宝山 GFE(L)-1 型探空雷达比对后的风速标准差统计结果,其中分类得到的无雨时段为 14 天,有雨日为 17 天。在无雨时段的图 2d<sub>1</sub> 中,其统计误差曲线与图 2b<sub>1</sub> 中曲线的显著不同之处是,从 1.5 km 高度向上到 4 km 高度范围内,两台 TWP3 风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型探空雷达测风风速的统计误差值随着比对高度的增加明显减小,而且离开宝山探空站距离近的嘉定 F1 赛车场的 TWP3 风廓线雷达的比对误差统计(蓝色)曲线减小的幅度明显大于距离

宝山站远的松江泖港 TWP3 风廓线雷达的误差统计(绿色)曲线,在该图上表现出蓝色曲线始终位于绿色曲线的左边。这充分说明,在比对的无雨时段的天气较稳定,参比探测设备的统计误差值受站点间风场不均匀的影响明显减小,而且风场不均匀对比较误差值的影响程度与参比的风廓线雷达站离开宝山二次探空雷达站的间距大小成正比。图 2d<sub>2</sub> 是资料分类的有雨时段,图中参比的两台 TWP3 型风廓线雷达的统计误差曲线在整个比对高度范围内都是重叠的,且比较的统计误差数值随高度增加基本维持不变。其中 LAP3000 风廓线雷达资料统计曲线在整个比对高度范围内呈现锯齿状外形,显然其统计误差大于 TWP3,可也有在很多高度上的比对误差曲线与 TWP3 风廓线雷达误差曲线重合,其统计误差与 TWP3 相当。这表明在资料比对的有雨时段,尽管监测到的 LAP3000 型风廓线雷达的发射功率只有 470 W,差不多仅是 TWP3 型风廓线雷达的  $1/4$ ,但是探测到的回波信号比无雨时段强,故 SNR 值佳,比较的统计误差就小。另外分析认为,在有雨时段出现锯齿状外形的统计误差曲线的主要原因是,对参比配对数据进行有/无雨分类还欠精准。

图 3a 和 3b 与图 3c 和 3d 分别是 2011 年 8 月 7 日 01 与 19 时台风梅花路经上海期间,嘉定外岗 LAP3000 型风廓线雷达和 F1 赛车场 TWP3 型风廓线雷达测风数据与上海宝山 GFE(L)-1 型二次雷达测风数据的比对情况。图中误差曲线表明,尽管在各个高度上仅是单个数据样本(风速/风向)的比对,而且在整个高度比较范围内,两种型号风廓线雷达所测梅花台风的风速比 GFE(L)-1 型二次探空雷达的测风数值明显偏小,其中 01 和 19 时风速的平均绝对误差对 LAP3000 型和 TWP3 型风廓线雷达而言,分别为  $-3.91$ 、 $-3.33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $-3.88$ 、 $-3.56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,但是本研究认为,在该台风期间两种测风体系设备的测风资料精度还是可比的。至于本文发现风廓线雷达测风数值相对二次探空雷达测风数值偏小的原因,笔者认为需另行研究。此外,在梅花台风上述影响期间,将上海组网风廓线雷达与宝山二次探空雷达测风数据进行比对的例子也直接证实了,台风是一个非常强劲的“湍流信号源”,而在高/低空急流区里的湍流扰动却很弱,风廓线雷达经常探测不到信号。

### 3 小 结

(1)统计结果表明,在基本稳定天气条件下,两种型号风廓线雷达测风资料互比平均标准差在盛夏时段为  $3.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,初冬是  $4.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;F1 赛车场、泖港镇 TWP3 型以及外岗 LAP3000 型风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型二次雷达测风数据对比的平均标准差在盛夏时段分别为 3.34、3.37 和  $4.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;初冬时段是 3.22、3.22 和  $3.42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。参比的两台 TWP3 型风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型二次雷达探空测风的误差都是  $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。以上情况与 Wuertz 等(1988),Weber 等(1990a)以及 Weber 等(1990b)的研究结果是吻合的。

(2)研究指出,参比边界层风廓线雷达与宝山 GFE(L)-1 型二次雷达探空测风的比对精度随取样数据比较高度范围增大而变差的特征十分明显;而两者间隔距离的大小则反映不明显,这表明大部分参比样本资料对应的天气系统的水平尺度大于上海组网风廓线雷达站的间距。

(3)将 Eulerian 测风系统与 Lagrangian 测风系统之间进行探测数据的误差比较,事实上也是对风廓线雷达系统主要技术指标设计取值是否合理的实际应用检验。若其他技术指标相同,仅分析边界层风廓线雷达发射功率指标的取值合理性,本研究认为 TWP3 型风廓线雷达采用  $2 \text{ kW}$  峰值发射功率明显比 LAP3000 型风廓线雷达采用  $700 \text{ W}$  峰值发射功率的比较误差小,其系统指标设计取值相对较为合理,探测资料的质量也更加接近宝山 GFE(L)-1 型二次雷达探空测风的气象业务精度的要求(姚雯等,2009;马舒庆等,2011)。

(4)本研究提出了风廓线雷达测量的“有效探测高度”的概念。希望今后通过对“有效探测高度”的深入研究,在 Eulerian 测风系统与 Lagrangian 测风系统之间建立起桥梁,使得风廓线雷达与 GFE(L)-1 型二次雷达探空测风的误差可控并且最终实现测风资料的互相补充。

(5)本文的误差统计曲线表明,LAP3000 型风廓线雷达的“有效探测高度”约为 TWP3 型风廓线雷达的  $1/4$ ;若要达到 TWP3 型风廓线雷达的水平,则需要改进系统设计,加大发射功率。故目前上海

组网的 LAP3000 型边界层风廓线雷达的测风性能与 TWP3 型边界层风廓线雷达存在系统性差距。

### 参考文献

- 马舒庆,吴可军,陈冬冬,等.2011.天气现象自动化观测系统设计.气象,37(9):1166-1172.
- 孙旭映,韩晖,段海霞,等.2008.风廓线雷达与气球测风资料的比对分析.干旱气象,26(3):48-52.
- 王欣,卞林根,彭浩,等.2005.大气风廓线雷达探测试验与应用.应用气象学报,16(5):693-697.
- 吴志根.2012.边界层风廓线雷达在降水时段中的在线分析应用研究.气象,38(6):758-763.
- 吴志根,沈利峰.2010.边界层风廓线雷达应用中存在的若干问题.高原气象,29(3):801-809.
- 吴志根,丁若洋,郑杰,等.2011.边界层风廓线雷达多普勒频谱高度图综合应用初探.气象,37(8):1006-1017.
- 姚雯,马颖.2009.用 GPS 定位数据研究 L 波段雷达数字探空仪系统的测高误差.气象,35(2):88-93.
- 中国气象局监测网络司.2004.L 波段高空气象探测系统维护、维修手册.北京:气象出版社.
- 中国气象局监测网络司.2005.L 波段(1)型高空气象探测系统业务操作手册.北京:气象出版社.
- Larsen M F.1983.Can a VHF Doppler radar provides synoptic wind data? A comparison of 30 days of radar and radiosonde data. Mon Wea Rev,111:2047-2057.
- May P T, Strauch R G.1989.An examination of wind profiler signal processing algorithms. J Atmos Oceanic Technol,6:731-735.
- Riddle A C, Hartten L M, Carter D A, et al.2012.A minimum threshold for wind profiler signal-to-noise ratios. J Atmos Oceanic Technol,29:889-895.
- Staffs of NWS and OAR prepared by the Aug.1994.Wind profiler assessment report and recommendations for future use 1987-1994. [Available from NOAA FSL R/E/FS1 325 Broadway Boulder, CO 80303-3328.].
- Strauch R G, Merritt D A, Moran K P, et al.1984.The Colorado Wind-Profiling Network. J Atmos Oceanic Technol,1:37-49.
- Strauch R G, Weber B L, Frisch A S, et al.1987.The precision and relative accuracy of profiler wind measurements. J Atmos Oceanic Technol,4:563-571.
- Weber B L, Wuertz D B.1990a.Comparison of rawinsonde and wind profiler radar measurements. J Atmos Oceanic Technol,7:157-174.
- Weber B L, Wuertz D B, Strauch R G, et al.1990b.Preliminary evolution of the first NOAA demonstration network wind profiler. J Atmos Oceanic Technol,7:909-918.
- Wuertz D B, Weber B L, Strauch R G, et al.1988.Effects of precipitation on UHF wind profiler measurements. J Atmos Oceanic Technol,5:450-464.